

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

ARETHUSA NAARA GOEDERT

ESTABILIDADE DOS TALUDES SUBMERSOS DO CANAL DE ACESSO AOS
TERMINAIS PORTUÁRIOS DE ITAJAÍ E NAVEGANTES

Joinville

2016

ARETHUSA NAARA GOEDERT

ESTABILIDADE DOS TALUDES SUBMERSOS DO CANAL DE ACESSO AOS
TERMINAIS PORTUÁRIOS DE ITAJAÍ E NAVEGANTES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Infraestrutura, do curso de
Engenharia de Infraestrutura da
Universidade Federal de Santa Catarina,
Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Dr. Marcelo Heidemann.

Joinville

2016

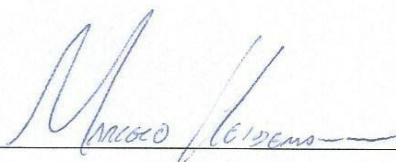
ESTABILIDADE DOS TALUDES SUBMERSOS DO CANAL DE ACESSO AOS
TERMINAIS PORTUÁRIOS DE ITAJAÍ E NAVEGANTES

ARETHUSA NAARA GOEDERT

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Infraestrutura na Universidade de Santa Catarina, Centro de Joinville.

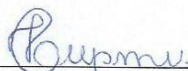
Joinville, 02 de Dezembro de 2016.

Banca Examinadora:



Marcelo Heidemann, D. Sc.

Orientador



Helena Paula Nierwinski, M. Sc.

Membro



Yader Alfonso Guerrero Pérez, D. Sc.

Membro

Agradecimentos

Agradeço a Deus e ao meu Anjo da Guarda, que me protegeram nestes anos fora de casa.

Ao meu pai, Renato, por sempre ter priorizado meus estudos, pois sabe o tamanho do poder da educação. À minha mãe, Cláudia, e ao meu irmão Renato, também engenheiro, que foi o melhor consultor e fonte de pesquisas.

À minha família e amigos por apoiarem minhas escolhas e que sempre me incentivaram. À minha família adotiva, que constitui durante o curso: as amigas Aline, Cheyenne, Damylle, Evellyn, Flávia, Gabrielle e Thainá, e minhas irmãs de coração Karla e Thais. Agradeço pela amizade, por tudo que passamos juntas, seja bom ou ruim. Agradeço também às suas famílias, que em vários momentos também foram minha família. Quero que saibam que as considero e respeito-as como amigas e partes importantes da minha vida.

Ao meu primo Rômulo, que me ajudou quando cheguei a Joinville. Acredito que minha personalidade hoje é, em grande parte, influenciada pelos primeiros anos que convivi com você.

Ao professor doutor Marcelo Heidemann, ser um excelente profissional e ter me dado a honra de sua orientação. A maneira de compartilhar seu conhecimento conosco nos incentiva a evoluir e formar o nosso lado profissional. Obrigada.

Ao corpo docente e técnico do centro de Joinville, estou há tanto tempo aqui que acredito que conheça a todos, e respeito ainda mais sua luta para melhorar nossa situação.

Agradeço aos professores do curso de Engenharia de Infraestrutura, pela paciência e pela dedicação para conosco.

Aos Engenheiros André Pimentel e Marcelo Graf, e toda a Superintendência do Porto de Itajaí, por disponibilizarem os dados e sempre sanaram minhas dúvidas quando precisei.

A todos os amigos e colegas que tive o prazer de conhecer nestes anos aqui em Joinville. Cada um de vocês é uma peça importante no meu desenvolvimento.

“O inimigo mais perigoso que você poderá encontrar será sempre você mesmo.”

Friedrich Nietzsche

Resumo

GOEDERT. A. N. Estabilidade dos taludes submersos do canal de acesso aos terminais portuários de Itajaí e Navegantes. 2016. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, 2016.

O Brasil possui grandes dimensões e uma boa disposição hidrológica. Cada vez mais se necessita aumentar a capacidade de carga transportada com menor preço, sendo que o transporte aquático é uma opção para tal problemática. Para os portos o canal de navegação deve ser apto à navegação segura para as embarcações. Constantemente os navios tem suas dimensões aumentadas, para que possam transportar mais cargas, essas mudanças de dimensões afetam os portos, pois com o aumento do calado do navio, necessita-se aumentar a profundidade do canal de acesso. O aprofundamento é feito escavando o leito do rio, retirando o material. A retirada de material afeta as margens do canal, pois parte do material retirado ajuda a estabilizar as margens, que podem estar expostas diretamente ao corpo hídrico, ou conter estruturas de contenção, como nos berços. Esta obra de aprofundamento pode ser vista no canal de acesso ao complexo portuário do rio Itajaí-Açu. O complexo conta com o Terminal Portuário de Navegantes (PORTONAVE), o porto de Itajaí entre outras empresas ribeirinhas. Com o objetivo de ampliar a capacidade de transporte de ambos terminais, as empresas em conjunto, decidiram aumentar a profundidade do rio. Com a retirada do material do leito existe uma necessidade de verificar o efeito de tal alteração topográfica sobre os taludes. A análise dos efeitos da mudança de topografia para os taludes, foi investigada com base em métodos de equilíbrio limite Bishop e Morgenstern-Price. Foram avaliadas cinco seções transversais ao canal. A construção dos perfis e da topografia foi realizada com base nos dados disponibilizados pela Superintendência do Porto de Itajaí. Os valores calculados de fatores de segurança (FS) para a atual situação, por Morgenstern-Price variam de 5,29 à 9,07 para a margem direita, e 3,96 à 16,41 para a margem esquerda, podendo ser considerados elevados e de acordo com os valores estipulados na norma NBR 11692:2009. Na ampliação do canal, tais valores decresceram, variando de 5,92 à 7,52 para a margem direita, e 4,17 à 13,09 para a margem esquerda, mas ainda consideravelmente altos. A mudança da topografia alterou os valores de FS, porém mesmo com o decréscimo causado, os taludes ainda estão estáveis e seguros no que diz respeito à deslizamentos rotacionais.

Palavras-chave: Estabilidade de margens. Portos. Taludes submersos.

Abstract

GOEDERT. A. N. Stability of submerged slopes in the access channel to the port terminals of Itajaí and Navegantes. 2016. 70 p. Monograph (Graduation) – Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, 2016.

The Brazil has large dimensions and a good hydrological layout. More and more it is necessary to increase the capacity of cargo transported with lower price, the water transport is one of the options for such problematic. For ports the channel has to be compatible with navigation topography, with a pre-established depth. Constantly the ships have their dimensions increased, so that they can transport larger quantities. These changes of dimensions affect the ports, because with the increase of the draft of the ship, it is necessary to increase the depth of the access channel. These increases in the river are made by digging the river bed, and removing the material. The deepening can be seen in the access channel to the Itajaí-Açu river port complex. The complex contains the Port terminals of Navegantes (PORTONAVE), the port of Itajaí among other riverside companies. In order to expand the transportation capacity of both terminals, the companies together decided to increase the depth of the river. With the removal of material from the bed of the river there is a need to verify the effect of such topographic alteration on the slopes. The analysis of the effects of the topography change for the slopes was investigate using the boundary equilibrium method Bishop and Morgenstern-Price. The channel will be divided five sections cross-channel. The construction of profiles and topography was done based on the data provided by the Superintendence of the Port of Itajaí. With the data was calculated values of safety factors (FS), for the current situation, using Morgenstern-Price the values are between 5,29 to 9,07, for the right side, and 3,96 to 16,41 from de left side, these values are elevated and respecting of the values stipulated by the NBR 11692: 2009. In the expansion of the channel, such values decreased, the values stay between 5,92 to 7,52, from de right side, and 4,17 to 13,09 in the left side, but still remained high. The topography change altered the SF values, but even with the decrease the slopes are stable and safe in regard of the rotational slides.

Palavras-chave: Slope stability. Ports. Submerged slopes.

Sumário

Introdução	10
1.1.Objetivo geral	12
1.2.Objetivo específico	12
1.3.Organização do trabalho	13
Fundamentação teórica	14
2.1.Portos Fluviais e Marítimos	14
2.2.Dragagem	19
2.3.Batimetria	22
2.4.Estabilidade de taludes em áreas portuárias	24
Caracterização da Área Estudada	32
3.1. Seção 1	37
3.2. Seção 2	39
3.3. Seção 3	42
3.4. Seção 4	43
3.5. Seção 5	45
Metodologia	47
4.1. Levantamento de dados	48
4.2.Construção das seções	48
4.3. Análise para o equilíbrio limite	49
Resultados	50
5.1. Seção 1	51
5.1.1Margem direita	52
5.1.2. Margem esquerda	53
Seção 3	55
5.2.1Margem direita	55
5.2.2. Margem esquerda	56
Seção 5	58
5.3.1. Margem direita	58
5.3.2. Margem esquerda	59
5.4. Análise dos resultados	60
Considerações finais	63
6.1.Conclusão	63

6.2. Recomendação para trabalhos futuros	64
Referências	65
Apêndices	71

1. Introdução

O Brasil é um país de dimensões continentais e tem como grande vantagem uma disposição generosa de rios e extensão litorânea. Tais características tornam o transporte hidroviário um ponto de importante relevância. A crescente demanda de transporte de cargas faz com que os portos se adequem para receber navios cada vez maiores (SECRETARIA DE PORTOS- SEP, 2016).

Os portos são compostos de uma parte terrestre e uma parte aquática, sendo que a parte aquática requer maiores níveis de manutenção do que a territorial. A parte aquática do porto pode ser um rio, ou o mar. Em ambos, as hidrovias devem ser constantemente regularizadas para permitir o acesso dos navios ao terminal portuário (UFMG, 2007).

A regularização do canal consiste em uma sequência de obras que devem ser realizadas para manter o canal em condições navegáveis. Entre essas obras destaca-se a dragagem, operação realizada constantemente em portos (ALFREDINI, 2014).

Em portos fluviais, adjacentes a rios, a dragagem tem como objetivo desobstruir o canal de navegação, realizando manobras que extraiam os sedimentos depositados no fundo dos canais. A dragagem é uma obra que deve garantir as condições de navegação do canal, portanto deve ser constante, em toda a extensão do canal. Essa dragagem, conhecida como dragagem de manutenção, deve seguir um determinado cronograma e fazer respeitar a carta topográfica para garantir a navegabilidade do canal (BRITISH STANDARD INSTITUTION – BSI, 1991; ALFREDINI, 2014).

O acúmulo dos sedimentos é proveniente da sazonalidade do corpo hídrico, tendo em conta as variações de nível de água e velocidade de fluxo provocada pelos regimes de marés e de chuvas. A dragagem é realizada quando o canal sofrer acúmulo de sedimentos no seu leito. Para os portos, a dragagem é constante, pois a navegabilidade das embarcações depende da condição da topografia do rio (BSI, 1988; 1989; 1991a; 1991b; 1994; 2000; ALFREDINI, 2014).

As dimensões das seções topográficas do rio devem possibilitar que todas as embarcações, que se encaixem dentro das medidas do navio projeto, possam trafegar e realizar suas manobras com segurança (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PORTS AND HARBORS- IAPH, 2003).

Além disso, por mais que o projeto dos portos seja executado com base em um navio com dimensões definidas (IAPH, 2003), as embarcações cada vez mais aumentam o calado e a largura. Para se adequar às novas embarcações os portos devem aprofundar seus canais de navegação (SEP, 2016; PORTO DE ITAJAÍ, 2016). O aumento da profundidade é obtido escavando-se o leito do rio. Essa remoção de material modifica as condições às quais os taludes das margens do rio estavam submetidos (ALFREDINI, 2014).

A variabilidade de condições topográficas, a qual o terreno que comporta o corpo hídrico está exposto, pode causar instabilidade das encostas que compõem as margens desses corpos hídricos. Essas instabilidades mobilizam o solo, que acaba por se depositar no fundo destes corpos hídricos, reduzindo o calado e dificultando a navegação. Além disso, as próprias estruturas localizadas nas margens podem ser afetadas por esses movimentos de massa (BRITISH STANDARD INSTITUTION – BSI, 1988a; 1988b; 1989; 1991; 1994; 2000; ALFREDINI, 2014).

A escavação expõe o talude a um novo conjunto de esforços, removendo uma parcela que contribui com a estabilidade do mesmo. Com a constante necessidade de aprofundar os canais, cada vez mais os taludes são expostos a escavações, e consequentemente, à mudança de topografia.

O estado brasileiro possui 37 portos regidos por empresas públicas. Dentre os 37 destaca-se, na região Sul, o porto de Itajaí. Localizado no estado de Santa Catarina, o porto está adjacente ao rio Itajaí-Açu, que comporta ainda o Terminal Portuário de Navegantes (Portonave), administrado por uma empresa privada, e outras pequenas estruturas portuárias ao longo do seu traçado, adentrando o território. Todo esse conjunto de terminais constitui o complexo portuário do rio Itajaí-Açu (SEP, 2014; PORTO DE ITAJAÍ, 2016).

O assoreamento do canal do Rio Itajaí – Açu possui grande interferência econômica. O terminal portuário de Itajaí é um dos principais canais de exportação da região, e a impossibilidade de navegação do rio causa prejuízos econômicos de grandes dimensões (PORTO DE ITAJAÍ, 2016).

O complexo portuário do rio Itajaí-Açu, atualmente, possui um canal de acesso com profundidade de 14 metros. Em conjunto, as empresas privada e pública pretendem aumentar a profundidade do canal, possibilitando que embarcações maiores possam atracar. O projeto para aumentar a profundidade do canal, consiste na escavação de dois metros do leito do rio (PORTO DE ITAJAÍ, 2016).

Como o canal encontra-se em uma área urbanizada e com diversas estruturas náuticas ao longo de seu percurso, intervenções que levem à instabilização das margens, são críticas frente, não apenas à questão da redução do calado do canal (por causa da deposição da massa instabilizada), mas também à segurança de tais estruturas.

Nesse sentido, este trabalho busca avaliar os efeitos destas intervenções à estabilidade dos taludes ao longo do canal de acesso aos portos de Itajaí e Navegantes. Para tal, serão determinados os atuais fatores de segurança que regem a estabilidade dos taludes frente a rupturas rotacionais, e os fatores de segurança obtidos após a execução do aprofundamento do canal.

1.1.Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é determinar os Fatores de Segurança frente às rupturas rotacionais que atualmente regem a estabilidade dos taludes do canal de acesso aos portos de Itajaí e Navegantes e os Fatores de Segurança obtidos após a execução do aprofundamento do canal.

1.2.Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar os perfis topográficos atuais com base nos dados de batimetria;
- Determinar os parâmetros geotécnicos representativos dos solos que compõem as margens do canal de acesso ao porto de Itajaí e Portonave;
- Determinar a mudança nos perfis topográficos após a obra de ampliação;
- Analisar a estabilidade dos taludes na situação atual e após a ampliação;
- Avaliar o efeito das mudanças na topografia para a segurança dos taludes.

1.3. Organização do trabalho

Inicialmente no Capítulo 1 faz-se uma introdução ao texto, apresentam-se os motivos pelos quais o estudo foi considerado importante e quais as problemáticas da ampliação dos portos.

Com a definição da problemática e entendimento da necessidade do estudo, no Capítulo 2 é apresentado o embasamento teórico necessário para analisar o problema e quais seriam os dados necessários para a análise do problema.

Como existe uma constante necessidade de se aumentar o volume de carga transportada e para a região, o complexo portuário possui grande importância. No Capítulo 3 apresenta-se a área que gerou o interesse inicial do estudo.

No Capítulo 4 são descritos os procedimentos e ferramentas para realizar as análises providas da mudança topográfica do canal e o Capítulo 5 contém as análises aplicadas na área de interesse.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho e algumas recomendações para trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Portos Fluviais e Marítimos

Portos são considerados elos importantes na cadeia logística. São considerados terminais multimodais (ALFREDINI, 2014). Os terminais portuários têm expressiva importância comercial, realizando o comércio internacional ou doméstico, do transporte de passageiros e/ou automóveis. “O porto é uma interface entre os navios no lado marítimo e o transporte ou armazenagem no lado de terra.” (IAPH, 2003).

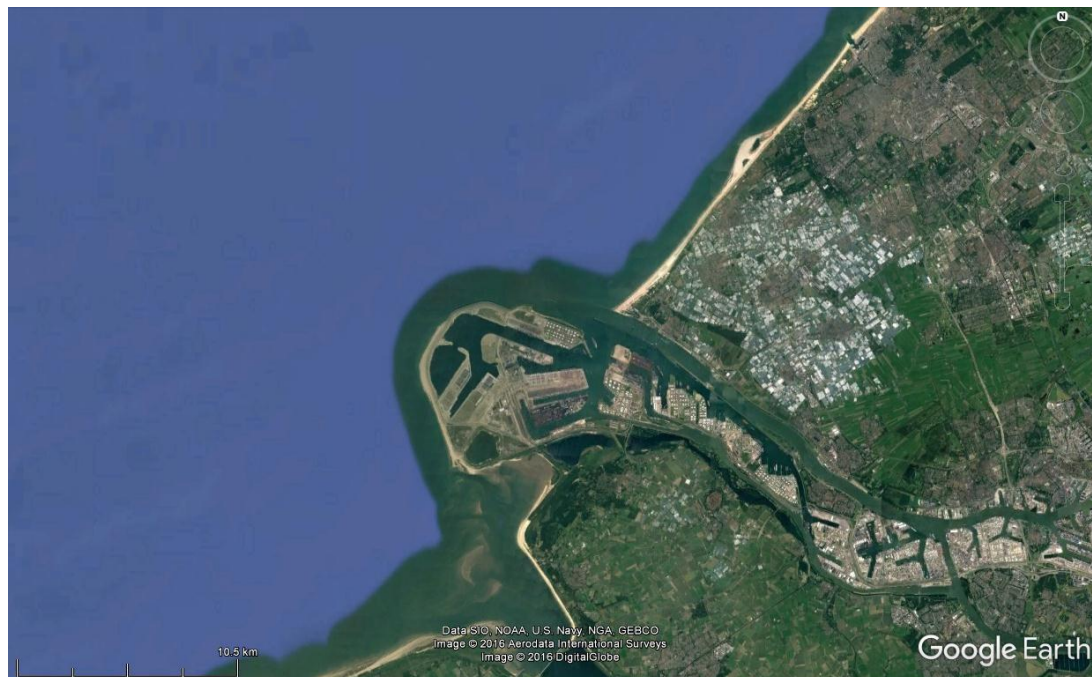
Os portos estão localizados adjacentes a corpos hídricos, como mares, rios, lagoas e podem ser classificados por suas vias ou por sua rota de navegação (MASON, 1981; UFMG, 2007).

Considerando sua localização geográfica, os portos localizados às margens de rios, são classificados como fluviais, e os localizados a beira do oceano, em mares são ditos marítimos. Na legislação brasileira, conforme a SEP (2016), a classificação de porto como marítimo ou fluvial considera o tipo de navegação, se esta é de longo curso ou interior, e não por sua localização.

Seguindo a classificação como posição geográfica, os portos podem ser classificados como exteriores, situados na costa, e internos, se em rios e lagos (ALFREDINI, 2014). Na Figura 1 está mostrada imagem do porto de Roterdã na Holanda, que é um exemplo de porto externo.

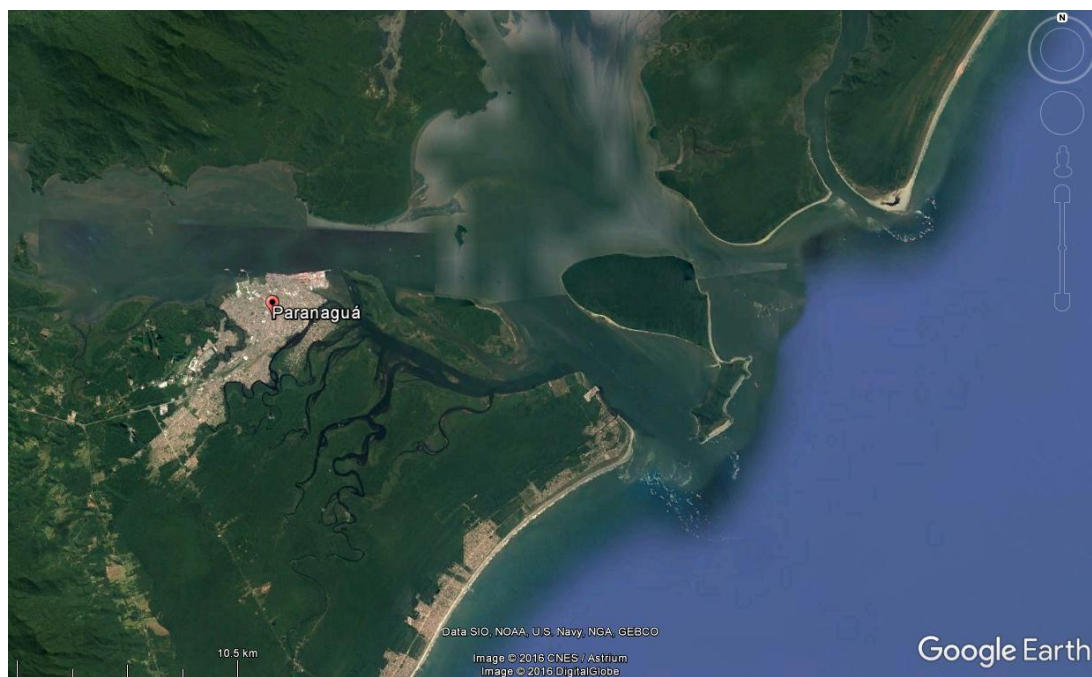
Já na Figura 2, está mostrado o porto de Paranaguá no Paraná, que é um exemplo de um porto interno.

Figura 1 – Representação de Portos Externos – Porto de Roterdã.



Fonte: Google Earth(2016).

Figura 2- Porto interno – Porto de Paranaguá



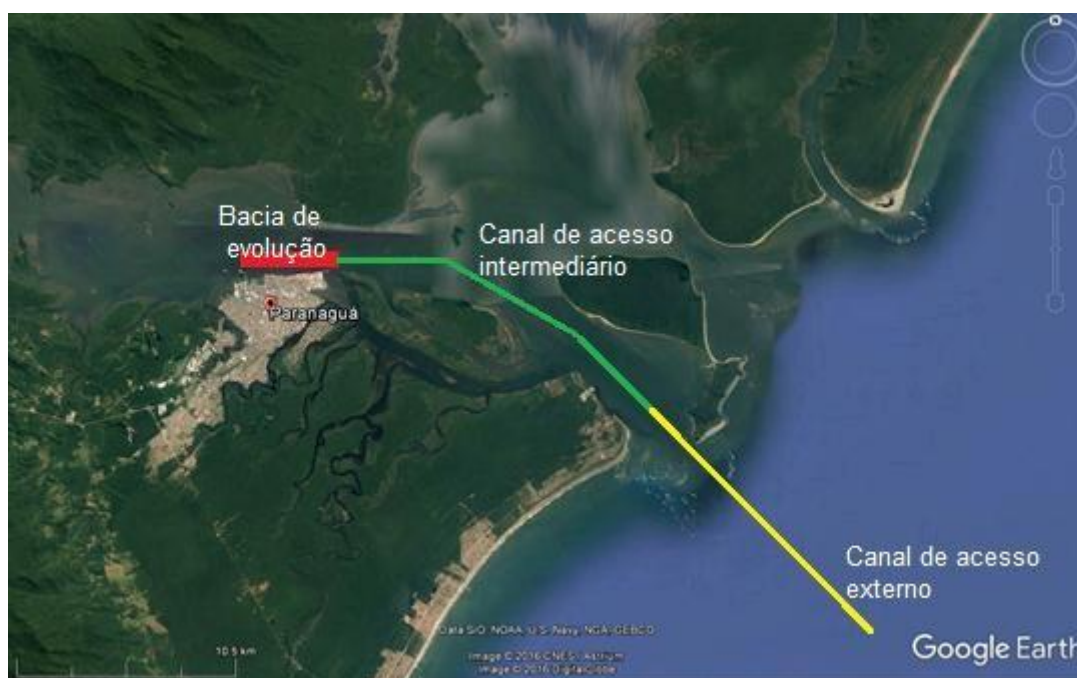
Fonte: Google Earth, 2016.

Os portos são constituídos de uma porção terrestre e uma aquática. As áreas terrestres incluem o retroporto, manipulação de carga, as vias de acesso e escoamento de cargas. A área aquática inclui o canal de navegação, que deve possuir profundidade compatível em toda sua extensão, canais de acesso, bacias de evolução e espera, e berços de acostagem para receber as embarcações. Além dos canais e berços, também deve ser projetada uma área de abrigos para essas mesmas embarcações (BSI, 2000; UFMG 2007; AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS-ANTAQ, 2009).

As áreas de abrigo devem ser projetadas para suportar as ações da natureza, como variações de níveis de água em curtos períodos de tempo, ações do vento, efeitos causados por ondas e aumento do nível do mar (BSI, 2000). Ainda, conforme BSI (2000), além das diferentes condições causadas por fenômenos naturais, outro ponto que deve ser considerado para o dimensionamento das áreas de abrigo é o suporte às manobras das embarcações, que serão atendidas pelo porto.

O projeto das obras de abrigo bem como as adequações necessárias no canal para navegação devem considerar um ponto base, as manobras e as condições de operação dos navios. O projeto deve visar à melhor situação para o traslado do navio, desde o ponto de entrada ao porto, no alto mar, até a acostagem nos berços, e isto visando o caminho de ida e volta (BSI, 2000). A via navegável então é composta por toda a extensão, desde alto mar até o berço. A extensão da via navegável fica mais bem exposta na Figura 3, na qual é possível visualizar toda a extensão do porto de Paranaguá, desde as águas marítimas, o canal de acesso externo, o caminho até o porto atracadouro e a bacia de evolução.

Figura 3 - Estrutura Portuária- Via de navegação e operação



Fonte- Google Earth 2016 – Adaptada

O terminal portuário deve ser projetado e adequado para receber os navios, atendendo profundidades mínimas, permitindo que navios que possuam o calado do navio projeto, naveguem com segurança (IAPH, 2003).

Os navios projeto são definidos por sequências de preposições sobre o porto e o canal. Tais preposições serão: a profundidade do rio; tipo de carga que o porto irá atender; o alinhamento do canal de acesso; quantidade de navios que utilizarão o porto simultaneamente; e uma ideia de quantos navios serão atendidos tanto no final do projeto inicial, quanto uma projeção de quantidade de navios para futuramente. (IAPH, 2003).

Essa sequência de preposições deve ser adotada com cautela, pois assim que o dimensionamento for finalizado e a obra começar a ser realizada, qualquer alteração do projeto torna-se cara, e consumirá muito tempo. As obras de abrigo são na sua maioria obras rígidas e estáticas. A mudança das dimensões ou da localização, depois ou durante a construção da mesma, afetam os prazos e custos da obra em geral (IAPH, 2003).

A execução das obras de abrigo, e demais obras de proteção, modifica as condições do canal, alterando seus regimes de correntes e transporte de sedimentos,

portanto o canal necessitará de adequações para possibilitar o tráfego das embarcações (BSI, 1988; 2000.).

Para a instalação de uma estrutura portuária e para tornar o canal hábil para navegação, serão necessárias obras para a regularização do leito e das encostas do canal. Tais obras de adequação, a dragagem explanada mais profundamente na próxima seção, serão constantes durante toda a obra e posterior à conclusão da mesma. Entre as obras necessárias para o canal, conforme o guia IAPH (2003), encontram-se:

- Construção – normalmente dragagem principal e/ou reconstrução por meio de alargamento e/ou aprofundamento;
- Manutenção – normalmente dragagem de manutenção, a fim de corrigir assoreamento e depósito de lodo;
- Operação – rebocadores, praticagem e auxílios à navegação (incluindo custos de investimentos).

Finalizadas as obras referentes aos canais de acesso e adequação do canal, a empresa responsável pelo porto deve, então, informar qual foi o navio projeto para o qual o porto foi dimensionado. No Brasil, a definição das dimensões do calado dos navios e a profundidade do canal devem ser divulgadas pela administração portuária, conforme Art. 18 da Lei Nº 12.815, de 5 de Junho de 2013 (BRASIL, 2013). Ainda, devidamente coordenada com as autoridades marítimas, a administração portuária deve:

- a) Estabelecer, manter e operar o balizamento do canal de acesso e da bacia de evolução do porto;
- b) Delimitar as áreas de fundeadouro, de fundeio para carga e descarga, de inspeção sanitária e de polícia marítima;
- c) Delimitar as áreas destinadas a navios de guerra e submarinos, plataformas e demais embarcações especiais, navios em reparo ou aguardando atracação e navios com cargas inflamáveis ou explosivas;
- d) Estabelecer e divulgar o calado máximo de operação dos navios, em função dos levantamentos batimétricos efetuados sob sua responsabilidade;

e) Estabelecer e divulgar o porte bruto máximo e as dimensões máximas dos navios que trafegarão, em função das limitações e características físicas do cais do porto.

2.2 Dragagem

Corpos hídricos, por sua natureza, possuem sazonalidade, influência de marés agitadas, ou das águas das chuvas que escoam para os rios. O transporte de sedimentos é parte do sistema natural dos rios e mares, faz parte do ciclo que está em constante equilíbrio dinâmico, moldando a topografia do canal (BSI, 1991).

Os agentes mais importantes do transporte de sedimentos são as ondas e as correntes. As ondas são as mais imponentes agentes de movimentação de sedimentos, causando erosões e depósitos de sedimentos ao longo do leito do canal (BSI, 1991). O acúmulo de sedimentos nos leitos e encostas do canal prejudica a navegação, e atrapalha a operação dos portos. Para regularizar as margens e leito do canal, é realizada a operação de dragagem (ALFREDINI, 2014).

A dragagem, segundo Bray (1996), “[...] é uma obra ou serviço que consiste na limpeza, desobstrução, remoção, derrocamento ou escavação de material do fundo dos corpos hídricos”.

O objetivo da obra de dragagem é a escavação do material de acordo com um determinado gabarito topográfico especificado. A obra consiste na escavação e remoção (retirada, transporte e deposição) de sedimentos, por equipamentos adequados (ALFREDINI, 2014).

As dragagens servem para retificar o canal, adequar o mesmo a uma carta topográfica apta à navegação. Entre as adequações, é necessário aumentar a profundidade do canal em toda sua extensão. Essa necessidade de aumentar a profundidade vem em resposta à fabricação de embarcações cada vez maiores, que consigam transportar mais cargas. Logo o canal deve ser aprofundado e desobstruído e os sedimentos trazidos pelas correntes não podem acumular no canal (BRAY, 1996; LIMA, 2008; NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION-NOAA, 2014).

As operações de dragagem são susceptíveis às condições locais, como tipo de solo, necessidade de extração de rochas, e a situação de navegação do canal no dado

momento de realização da obra. Só a partir da definição do tipo de material a ser extraído e da condição do canal pode-se traçar um bom plano de dragagem, e isso se aplica a todos os tipos de dragagem (BSI, 1991).

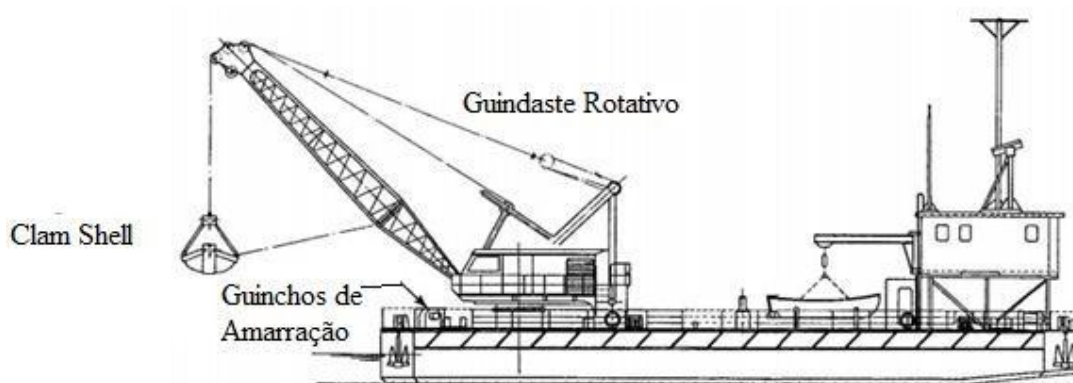
As obras de dragagem são realizadas tanto em rios, como em mares. A dragagem fluvial, realizada em rios, normalmente movimenta menores volumes do que as marítimas. Essas dragagens possuem profundidades reduzidas, menores que cinco metros, e dependendo da largura do rio, sua escavação pode ser realizada da margem do mesmo por escavadeiras (ALFREDINI, 2014).

Além da distinção de canais, rios ou mares, existem ainda as dragagens de implantação, que movimentam maiores volumes, e possuem maior interferência ambiental e física. A continuação das obras de dragagem é realizada por dragagens de manutenção, que têm por objetivo manter o canal em gabarito de navegação. Movimentando menores volumes, a dragagem de manutenção possui como objetivo simplesmente manter o canal com a topografia de projeto. As dragagens de implantação são consideradas agressivas, pois consistem na mudança do perfil do terreno (ALFREDINI, 2014).

As diferentes dragagens requerem diferentes equipamentos, cada diferente operação terá necessidade de um conjunto de equipamentos. O conjunto, então, vai variar conforme a necessidade da mesma (ALFREDINI, 2014). Ainda segundo o autor, a dragagem pode ser realizada por diferentes equipamentos e com diferentes mecanismos de dispersão ou armazenamento dos sedimentos indesejáveis.

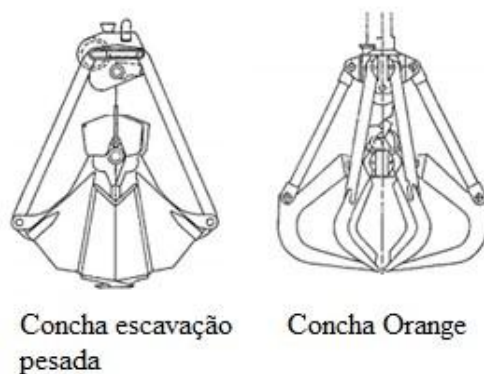
Dragas mecânicas são caracterizadas por equipamentos que contém uma caçamba para a remoção do material, (vide Figura 4). Os equipamentos podem levar o nome da caçamba que está acoplada, como mostra a Figura 5. Os equipamentos podem ser classificados como o tipo do trabalho que realizam. As dragas mecânicas serão utilizadas para obras mais amplas (ALFREDINI, 2014).

Figura 4 - Principais características da draga mecânica com caçambas



Fonte: Escalante, (2014, p. 156)- Adaptado

Figura 5- Diferentes tipos de conchas

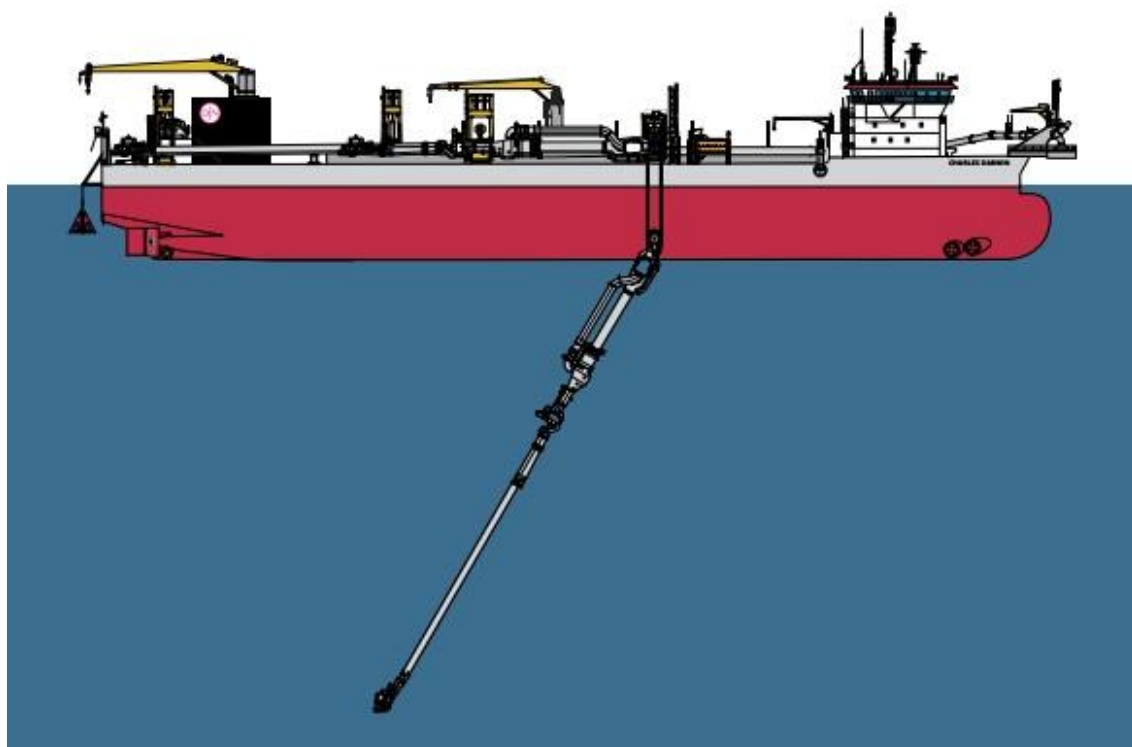


Fonte: Escalante, (2014, p.160)- Adaptado

As dragas hidráulicas possuem como mecanismo de extração de material bombas, estas podem ser de recalque ou de sucção. As dragas de sucção são utilizadas para manutenção. Estas dragas se caracterizam pela mistura e transporte do material dragado em escoamento hidráulico de alta velocidade (ALFREDINI, 2014).

Atualmente a maior draga de sucção atuante no cenário nacional está situada no complexo portuário do rio Itajaí- Açu, a draga Charles Darwin, mostrada na Figura 6, da empresa Belga Jan de Nul. A draga Charles Darwin tem 223 metros de comprimento, 40 metros de boca e capacidade de 30,5 mil metros cúbicos. A draga realiza a manutenção do canal de acesso aos terminais portuários de Itajaí e Navegantes (PORTONAVE, 2016).

Figura 6 - Draga de sucção Charles Darwin



Fonte: Jan de Nul Group (2016).

2.3 Batimetria

A batimetria, ou levantamento batimétrico, consiste na criação de curvas representativas de superfícies submersas, com o uso dos dados levantados. A técnica consiste em medir a profundidade dos canais, associadas a uma posição na superfície da água, e com os dados representar essa área em uma carta topográfica (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE-DNIT, 2010; GAO, 2009).

A carta topográfica facilita a visualização do perfil do canal a ser navegado (ROCHA, 2008). Com ela é possível estabelecer seções transversais do canal, do leito e os taludes, em rios e mares, que serão dragados e adequados para a seção de projeto.

A técnica consiste em emissão de ondas sonoras a partir de um ponto na superfície do canal. As ondas serão transmitidas pela massa de água, e, por refração e reflexão as ondas se propagaram e retornaram ao ponto de superfície. Com esses dados é montada uma malha de pontos, que serão ligados para formar as curvas batimétricas (PEREIRA e BARACUHY, 2008).

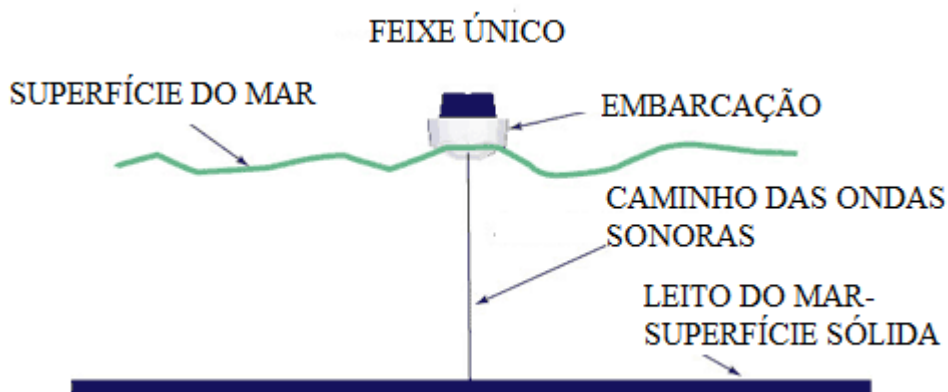
Um dos mais interessantes artifícios da batimetria é a capacidade de estimar o tipo de solo. É possível, através do banco de dados, converter intensidade e amplitude das ondas sonoras refletidas em padrões para a identificação de tipo de solo, como rochas e areias (FERREIRA, 2012).

O levantamento consiste na ciência de representar graficamente o relevo de áreas submersas. A representação topográfica consiste em ligar os pontos de mesma profundidade e assim criar as curvas batimétricas. Para realizar as medições são usados equipamentos como o ecobatímetros, que utilizam ondas de radar (PEREIRA E BARACUHY, 2008).

O equipamento consiste em uma fonte emissora de sinais acústicos e um relógio interno que mede o intervalo entre o momento da emissão do sinal e o instante em que o eco retorna ao sensor[...]. O som é captado pelo transdutor que consiste basicamente de um material piezoelétrico que converte as ondas de retorno do eco em sinais elétricos. Os ecobatímetros fornecem informações pontuais de profundidade no local imediatamente abaixo do transdutor, ou seja, indicam a distância vertical entre o casco do barco, aonde está instalado o sensor, e o piso aquático. (PEREIRA; BARACUHY 2008, p. 13)

O esquema batimétrico, demonstrado na Figura 7, consiste em uma onda sonora sendo transmitida ao canal, no ponto em que se encontra a embarcação. A onda irá se propagar, refletir e refratar, e os sons serão novamente captados pelo transdutor.

Figura 7 - Esquema de funcionamento do levantamento batimétrico de feixe único.



Fonte- U.S. Geological Survey (2016) - Adaptado.

Esses levantamentos têm custo relativamente baixo, reduzido tempo de execução e alto grau de eficiência (IHO, 2005 *apud* FERREIRA 2012). Uma das maiores dificuldades em levantamentos batimétricos é o controle do posicionamento

planimétrico da embarcação que realizará a sondagem, esta dificuldade impossibilita a marcação de pontos fixos, como também a dificuldade a repetição de uma medição em um mesmo ponto (RAMOS, 2007 *apud* FERREIRA 2012).

Os dados mensurados pontuais são precisos, e a execução do levantamento também gera bons resultados de perfis de profundidade ao longo das seções transversais. Uma problemática do método é as condições de ambientes, que não possibilitam a aplicação em áreas perto das costas, em águas rasas, como em condições de marés baixas que tornam a navegação perigosa (GAO, 2009).

Outro empecilho do levantamento é a necessidade de calibração do aparelho. O descaso com a calibração pode ocasionar representações errôneas do canal, e assim levar a erros de projeto e execução (BSI, 2000).

2.4. Estabilidades de taludes em áreas portuárias

Após a definição da topografia da seção do rio, além da adequação no leito, é necessário o estudo das margens do rio, e certificar-se de que o canal, como um todo, pode comportar o tráfego originário do porto.

A estabilidade dos taludes depende das ações que serão aplicadas aos mesmos durante a sua vida, e sua instabilidade é consequência da dinâmica à qual o talude estará exposto. Para estudar a estabilidade da encosta é necessário determinar: a topografia do talude; as sobrecargas aplicadas; o perfil estratigráfico; nível de lençóis freáticos; e possíveis condições críticas do talude (GERSCOVICH, 2016).

A qualidade dos projetos para estabilização do talude depende das investigações geotécnicas de campo e laboratório, e da confiabilidade destes mesmos dados fornecidos (GERSCOVICH, 2016). Tais dados serão utilizados como base para estipular os parâmetros do solo local, porém essa estipulação partirá do próprio projetista, que utilizará embasamentos literários e métodos consagrados para conseguir identificar cada parâmetro (BRIGHETTI e MARTINS, 2001; BERNI, 2007; GERSCOVICH, 2016).

A estabilidade dos taludes é de fundamental importância para o porto. Além do berço de atracação, o canal navegável deve estar estável e seguro para garantir uma boa operação do porto (BSI, 1988; 1991; 2000).

No caso dos canais de acesso aos portos, os taludes estão submersos, e o solo saturado. A problemática de solos saturados é a perda de resistência, devido à diminuição das tensões efetivas, um menor contato de grão com grão do solo, perdendo resistência ao cisalhamento. Já o problema dos taludes submersos é a variação do nível de água dentro desses taludes (MASSAD, 2010; GERSCOVICH, 2016).

Os diferentes níveis de água levam a diferentes condições de água dentro dos maciços de terra. Esses diferentes níveis são provenientes da sazonalidade de corpos hídricos e pelo regime de chuvas e marés. O fluxo criado pela saída de água de dentro dos taludes cria caminhos preferenciais de escoamento, gera forças de percolação e podem instabilizar as encostas e colocar em risco estruturas próximas. A entrada de água dentro do maciço pode levar o solo a um estado de liquefação, e erodir o talude (MASSAD, 2010; RODRIGUES 2014; GERSCOVICH, 2016).

Essa problemática de sazonalidade dos canais pode ser vista na região portuária de Manaus, onde o repetitivo ciclo de esvaziamento rápido do rio Negro, associado a planos preferenciais de ruptura e consecutivos aterros sobre aterros, acarretou na ruptura do solo, como mostra a Figura 8 (RODRIGUES 2014).

Figura 8 - Fenômeno de terras caídas.



Fonte: RODRIGUES (2014, pg. 8).

Ainda sobre a região portuária de Manaus, e o ciclo de esvaziamento rápido do Rio Negro, Rodrigues (2014, pq. 8) afirma:

“O fenômeno do rápido esvaziamento do Rio Negro, descendo cerca de 15m de altura em apenas 6 meses, talvez seja a mais severa condição a que um talude pode se submeter, razão do conhecido fenômeno das “terras caídas” em toda a região amazônica. Durante o esvaziamento rápido do Rio Negro, que pode chegar a cerca de 15cm por dia, perde-se o efeito estabilizante da água na região superior dos taludes e píers das áreas portuárias, permanecendo alta a poropressão no interior dos maciços

portuários. O resultado é a redução da estabilidade desses maciços e taludes, seguido de processos de rupturas.”

Tratando-se de estabilidade de taludes, casos como as terras caídas, onde o solo perde sua resistência, projetar e reforçar as estruturas para que a variação de água não seja tão destrutiva é de vital importância (ROGRIGUES, 2014).

O talude deve ser considerado como uma massa de solo submetida a esforços antrópicos, geológicos ou geotécnicos. A estabilidade de taludes deve levar em consideração o equilíbrio entre essas forças (FIORI, 2015).

O nível de segurança de taludes frente à instabilidade pode ser expresso por meio de fatores de segurança (FS). O emprego de FS é ainda obrigatório para o dimensionamento das estruturas de reforço de taludes e estruturas de contenção. O uso desses FS procede da razão entre ações estáveis e ações instabilizantes (DAS, 2007; ABNT 2009; MASSAD, 2010; GERSCOVICH, 2016).

O FS relacionará as forças aplicadas com as forças resistentes. Para que um talude seja considerado estável, este valor deve ser maior ou igual a 1, o que indica que as forças aplicadas instabilizantes serão menores, ou de mesma magnitude, que as forças resistivas. Sobre a segurança do talude, os valores do FS estão estipulados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR-11682:2009, variando entre valores de 1,2 até 1,5, dependendo dos riscos a pessoas e danos materiais e ambientais, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – tabela de valores de referência

		Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
		Alto	Médio	Baixo
Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Alto	1,5	1,5	1,4
	Médio	1,5	1,4	1,3
	Baixo	1,4	1,3	1,2

NOTA 1: No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10 %.

NOTA 2: No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , ϕ' e c' em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3: Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

Fonte: ABNT, 2009

As análises de taludes devem seguir métodos consagrados, tentando simular as situações mais próximas o possível das reais. Os taludes podem ser analisados com base no princípio de equilíbrio limite, nos quais os FS serão verificados (DAS, 2007).

As simulações e os parâmetros servem como base para um estudo inicial da situação do talude. Deve-se considerar a estabilidade para toda a vida útil da estrutura. Dentre as situações simuladas, deve-se verificar a estabilidade: prévia ao projeto; durante o projeto; durante a construção; e durante toda operação, o uso do talude (DAS, 2007; MASSAD, 2010; GERSCOVICH, 2016).

Sobre a teoria do equilíbrio limite, Gerscovich, 2016 afirma que:

“... consiste em determinar o equilíbrio de uma massa ativa de solo, que será delimitada por uma superfície, plana, circular, poligonal, mista, ou outra geometria qualquer. O método assumirá que a ruptura se dá ao longo da superfície e que todos os elementos dessa superfície atinjam simultaneamente a condição de $FS=1$.”

Para a utilização do método, admite-se que o mecanismo de ruptura é arbitrado (no caso a superfície de ruptura poderá ser plana, circular etc). O solo acima da superfície se comportará como um corpo livre, sendo que a massa será dividida em fatias. O equilíbrio da massa como um todo será feito pela análise de cada fatia. Os esforços gerados serão contabilizados como mecanismos estabilizantes e instabilizantes, e o equilíbrio final será a somatória dos estabilizantes e dos instabilizantes (GERSCOVICH, 2016).

A diferença entre os métodos de análise encontram-se na definição da superfície de ruptura, planar ou circular. (DAS, 2007; FIORI, 2015). A superfície de ruptura dependerá da presença de heterogeneidades ao longo do perfil do talude (GERSCOVICH, 2016). Ainda segundo a autora, “camadas com contrastes elevados de resistências ou a existência de descontinuidade acarretam mudanças bruscas na superfície de ruptura, tornando-a multiplanar ou mistas”.

Outros parâmetros que influenciam as superfícies de ruptura são parâmetros do solo, como a coesão, o ângulo de atrito e a disposição solo-rocha. O ângulo de atrito e coesão são parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo e podem ser estimados por ensaios de cisalhamento direto e ensaio triaxial (MASSAD, 2010).

Quando há a impossibilidade de extração de um corpo de prova para a realização de ensaios triaxiais e cisalhamento direto, realizam-se ensaios de campo, *in situ*. Os mesmos parâmetros (coesão e ângulo de atrito) podem ser estimados a partir de correlação com resultados dos ensaios de campo (DAS, 2007; MASSAD, 2010).

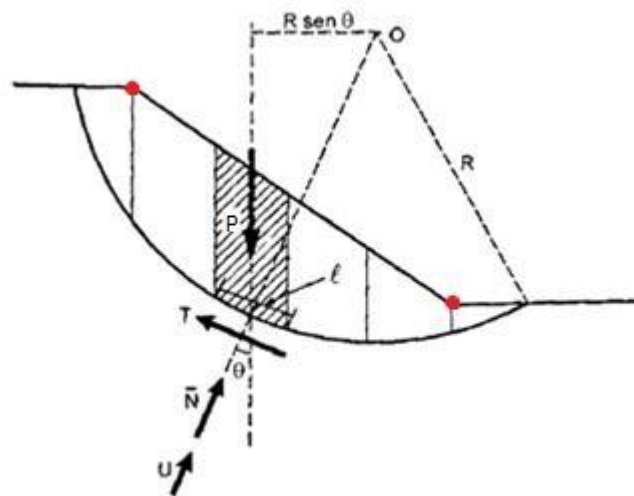
Os suecos, em 1916, desenvolveram um método de análise no qual constataram que as linhas de ruptura eram aproximadamente circulares, e que os escorregamentos ocorriam de tal modo que a massa de solo instabilizada se fragmentava em fatias, com faces verticais (MASSAD, 2010).

Esse método, conhecido como método das fatias, é mais utilizados, pois não dependem da homogeneidade do solo, como ocorre nos casos de taludes infinitos (GERSCOVICH, 2016). Este método possibilita incluir a distribuição das poropressões, conseguindo-se efetuar a análise em condições mais críticas.

O talude é dividido em fatias, como pode ser observado na Figura 9. A base, l , deve ser o mais linear possível, e conter apenas um tipo de material. O topo da fatia não deve possuir descontinuidades geométricas, a divisão em fatias será igual ao apresentado na Figura 9, e os pontos na figura representam possíveis descontinuidades que deverão ser pontos de delimitação de fatias (GERSCOVICH, 2016).

A fatia de solo estará submetida a um conjunto de forças, o peso próprio da massa de solo, P , três forças de tensões, uma atuante normal ao plano de ruptura N , as pressões neutras, também atuantes normal ao plano, U , e uma tensão cisalhante, T , paralela à área de ruptura (MASSAD, 2010). Do formato da lamela, l é a distância em contato com o plano de ruptura, e O e R , o centro e raio da circunferência, respectivamente, que dá origem à superfície circular.

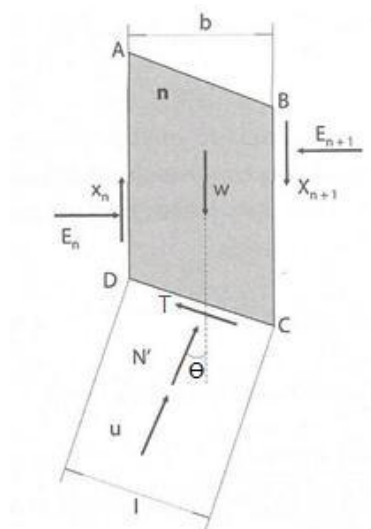
Figura 9 - Ruptura do maciço em superfície circular- Representação da divisão em lamelas e o conjunto de forças atuantes em uma fatia.



Fonte : Massad (2010, p 65)- Adaptado .

O equilíbrio da massa de solo será calculado através do equilíbrio das forças atuantes nas fatias. Essas forças serão, além das expostas anteriormente, aquelas de interação entre fatias. Na Figura 10 está representada uma fatia única, n , com as forças nela aplicadas, P , N , U , T , e as forças de interação entre partículas, E , que representam a força perpendicular à face da fatia sendo respectivamente, da anterior, n , e da posterior, $n+1$. E as forças de cisalhamento, paralelas à face da fatia, X , sendo novamente, n para a anterior, e $n+1$ para a posterior (GERSCOVICH, 2016).

Figura 10 – Representação das ações sobre uma fatia.



Fonte: GERSCOVICH (2016, p 124)- Adaptado .

Analisar em diferentes condições de tensões efetivas e totais e o tratamento dado a cada parcela das mesmas, é o que diferencia os métodos mais utilizados para análise de estabilidade (GERSCOVICH, 2016).

Fellenius, na década 1930, estendeu a análise para levar em conta a coesão na resistência ao cisalhamento do solo. Contudo o método não dá o devido tratamento às pressões neutras, que possuam componentes atuantes nas faces da lamela na massa de solo (MASSAD, 2010). Um exemplo do tratamento dado às pressões neutras é que, quando essas são elevadas, seus valores calculados tornam-se negativos, e neste método são desconsideradas (MASSAD, 2010).

O método de análise de Bishop, que é um método mais refinado que Fellenius, realiza os cálculos na direção vertical da lamela. É um processo iterativo, estipulando um fator de segurança inicial e recalcula-se o valor do fator de segurança para chegar ao valor final (DAS, 2007).

Outro método consagrado é o de Morgenstern e Price. Trata-se do método mais rigoroso para equilíbrio limite considerando uma superfície de ruptura qualquer. O cálculo assume que inclinação (Θ) das resultantes entre as fatias varia seguindo uma equação (Eq. 1 ou 2), ao longo da superfície de ruptura, o que torna o problema estaticamente determinado (GERSCOVICH, 2016).

$$\left(\frac{d\theta}{dx} \right) = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{d\theta}{dx} \right) \quad \text{Equação 1}$$

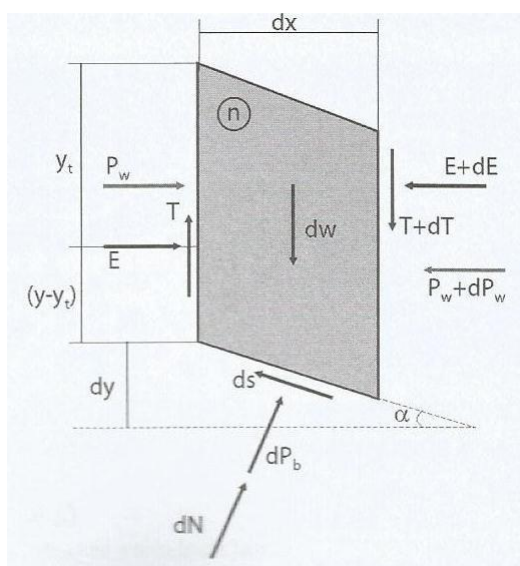
$$\left(\frac{d\theta}{dx} \right) = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{d\theta}{dx} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Segundo Gerscovich,(2016):

- λ é um parâmetro escalar determinado a partir da solução de cálculo do fator de segurança;
- $f(x)$ uma função arbitrária.

A $f(x)$ representa a função que melhor representará a superfície de ruptura, e requer um conhecimento prévio da inclinação das forças entre fatias que varia no talude (GERSCOVICH, 2016). O método considera as forças em uma fatia infinitesimal, $dx \rightarrow 0$, na Figura 11, ou no caso, $b \rightarrow 0$, mostrado na Figura 10. Tal proposição é tomada para que não haja rotação da fatia, e o equilíbrio de momentos em relação ao centro da base da lamela seja nulo.

Figura 11- Representação da fatia e as forças aplicadas, para o caso Morgenstern-Price.



Fonte: GERSCOVICH, 2016, p.164.

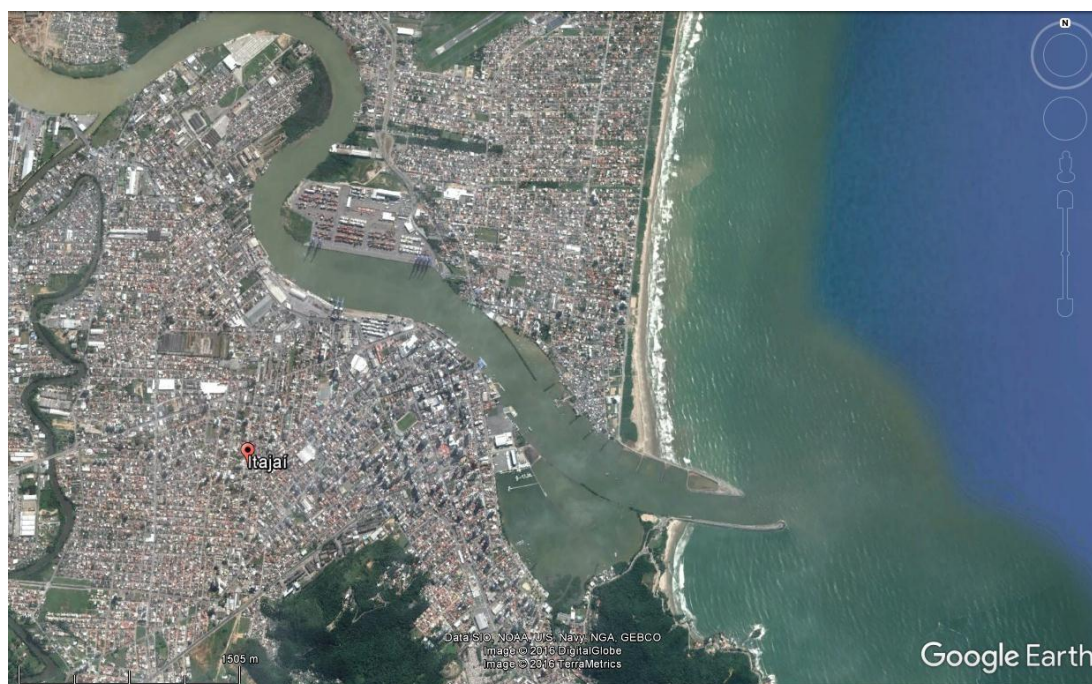
A equação resultante dos momentos nulos da lamela é a eq. 3. Na qual, $y(x)$ é a superfície de ruptura; $z(x)$, a superfície do talude; e $(\)$ a linha de ação da tensão efetiva normal.

$$\frac{\gamma \cdot (x) + \dots}{\dots} = \frac{\gamma \cdot (x) + \dots}{\dots} \quad \text{Equação 3}$$

3. Caracterização da Área estudada

A região a ser estudada consiste no canal de acesso ao Porto de Itajaí e Terminal portuário de Navegantes. Localiza-se no estado de Santa Catarina junto à foz do rio Itajaí-Açu, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Localização porto de Itajaí e terminal portuário de Navegantes.



Fonte: Google Earth (2016)- Adaptada.

Embora muito próxima do mar, a estrutura portuária se localiza na margem do rio Itajaí-Açu. O canal de acesso ao porto de Itajaí é o mesmo que serve o terminal portuário Portonave, em Navegantes, à frente do terminal portuário de Itajaí. Ambos os terminais, junto com os demais *piers*, entre outras empresas ribeirinhas, constituem o complexo portuário do rio Itajaí-Açu.

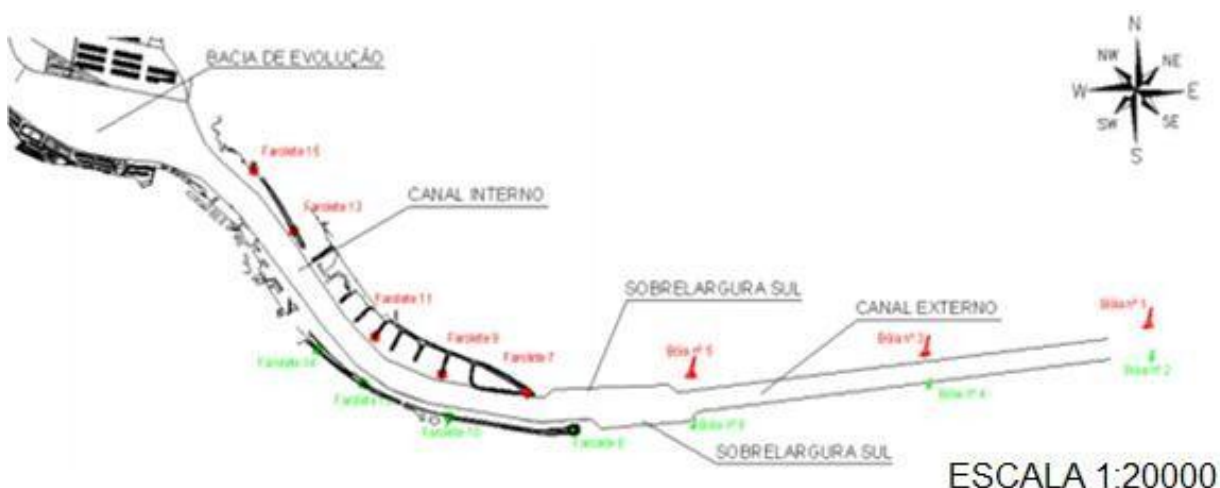
O Porto de Itajaí possui conexão por terra com importantes rodovias, como a BR101 e a BR470. A sua localização permite a centralização das cargas da região Sul

do Brasil e torna o terminal portuário um ponto importante na importação exportação. Sua atuação atinge 21 estados brasileiros e o Distrito Federal.

O complexo exporta as safras e produtos de toda a região Sul do Brasil, por isso existe uma constante preocupação em melhorar e assegurar que ambos os terminais operem com sua máxima capacidade. Para a região do Vale do Itajaí, ambos os terminais são polos geradores de renda e emprego. Qualquer problema com o canal causa prejuízos.

Além de assegurar a melhor operação para os mesmos, os terminais decidiram aumentar seu potencial de movimentação, aumentando a profundidade do canal e, conseqüentemente, possibilitando a atracação de maiores navios em seus berços. O atual canal de navegação encontra-se na Figura 13.

Figura 13 - Acesso aquático do porto de Itajaí



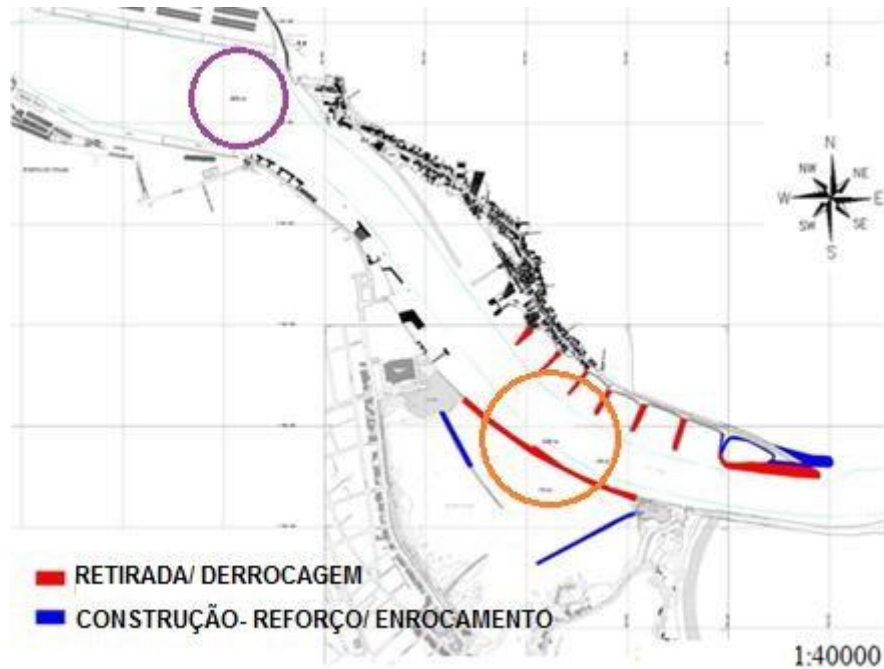
Fonte- Porto de Itajaí (2012) - Adaptada.

Com o objetivo de aumentar a movimentação de cargas, o complexo portuário, via colaboração entre as empresas pública e privada, decidiu aumentar a profundidade da bacia de evolução, lugar onde as embarcações realizam suas manobras. Com o aumento da profundidade, o raio da bacia também deve ser aumentado, porém na atual localização da bacia não seria possível.

Em projeto, cogitou-se a mudança da bacia de evolução para outra localização, como mostra a Figura 14, a localização atual da bacia é representada pela circunferência

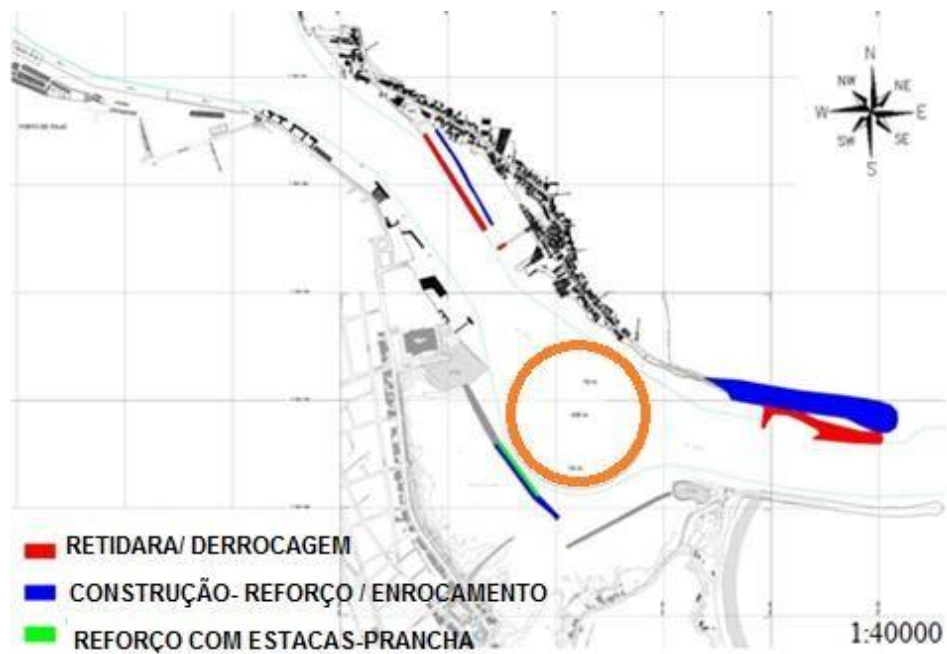
roxa. Ao final da obra a bacia possuirá 530 metros de diâmetro e 15 metros de profundidade, como mostrado na Figura 15, representada pela circunferência laranja.

Figura 14 – Projeto de Mudança da localização da Bacia de evolução



Fonte- Porto de Itajaí (2015) - Adaptada.

Figura 15 – Final da mudança na localização da Bacia de Evolução.



Fonte- Porto de Itajaí (2015) - Adaptada.

O aumento da profundidade do canal altera toda a dinâmica do corpo hídrico. Anteriormente, em 2008, foram realizadas obras emergenciais de retificação dos berços 1 e 2. As obras dos berços 2, 3 e 4, realizadas em 2012, levaram em consideração, em seu projeto básico, as problemáticas encontradas nas obras dos berços em 2008. Tais problemáticas eram:

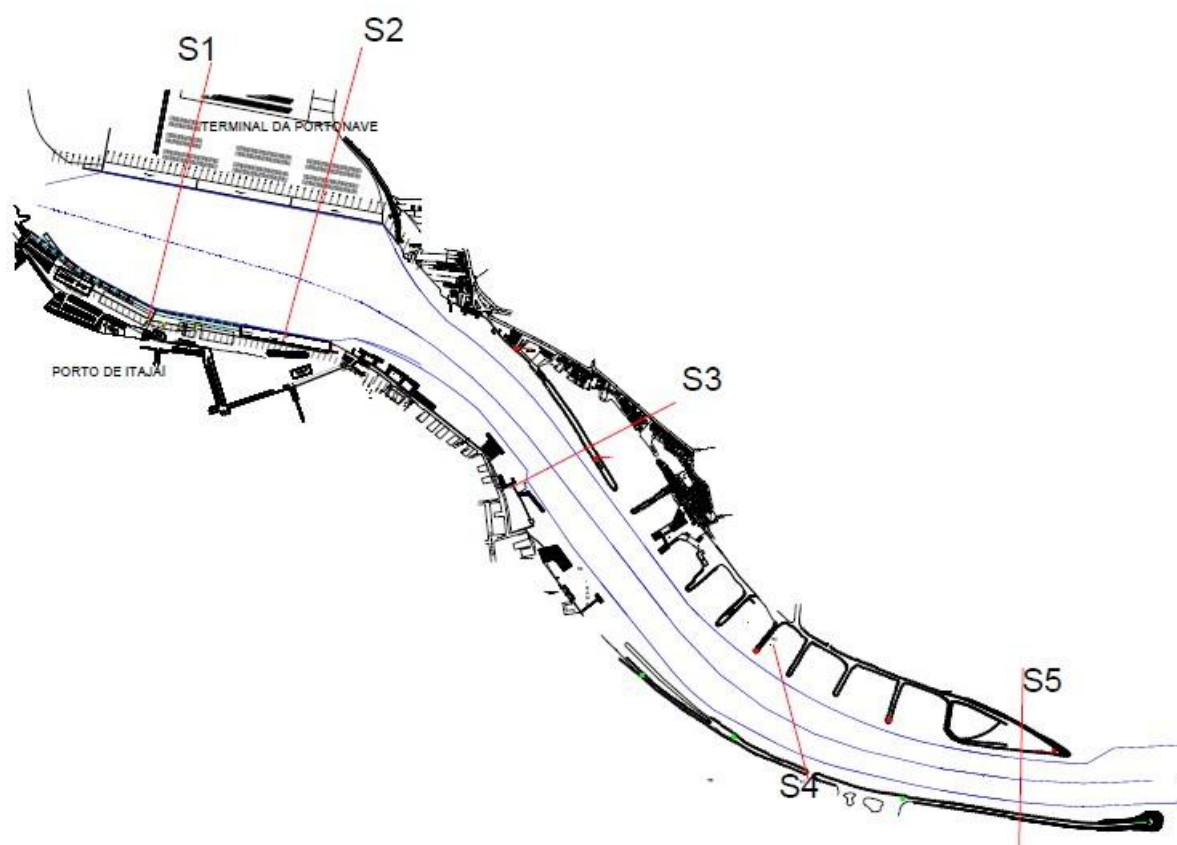
- Hidrologia- O rio Itajaí-Açu possui um alinhamento tortuoso, e seus diversos afluentes geram um aumento na vazão especialmente em épocas de chuvas. Isso acaba gerando na região do porto fortes correntezas, que podem causar erosões de forma a danificar a estrutura de fundação do porto, como ocorreu nos Berços 1 e 2;
- Geologia- o subsolo é composto de uma camada de areia compactada, localizada a partir da cota - 25m, e a partir da cota -38m já inicia a camada de argila mole que se estende até o solo residual, na cota -50m;
- Entulhos de desmoronamentos anteriores, o histórico do Porto de Itajaí apresenta ao menos três desmoronamentos, em trechos diferentes e intensidades diferentes.

O terminal portuário de Itajaí conta com quatro berços, que foram realinhados para possibilitar a atracação de navios maiores. O porto possuía os berços organizados em facetas, linhas não contínuas, o que dificultava a atracação de navios maiores. Esse novo berço é o realinhamento dos berços 2, 3 e 4, formando uma nova linha de atracação, com 490 m, somando com 520 m já existentes, referentes aos berços 1 e 2.

Para a nova ampliação, o rio passará por escavações, além da retirada dos escombros e a retirada do material do leito do rio. De forma geral, a escavação de pés das margens é uma intervenção indesejada, pois com a retirada de parte do material que atua na estabilidade, o talude tende a ter seu FS reduzido, levando, em casos críticos, ao desencadeamento de movimentos de massas.

Para avaliar a atual situação e efeitos dessas obras de ampliação à estabilidade dos taludes do canal, cinco seções foram traçadas no seu percurso, como visto na Figura 16. Essas seções foram posicionadas em regiões nas quais havia dados de ensaios de campo e levantamento batimétrico. Cada conjunto de dados fornecidos gerou uma seção estratigráfica e um conjunto de parâmetros de comportamento geotécnico.

Figura 16- Seções escolhidas no percurso do rio.



Fonte : O Autor

Os parâmetros utilizados para a análise são provenientes de resultados dos ensaios de campo disponibilizados pela Superintendência do Porto de Itajaí. Informações sobre as camadas de areia, o enrocamento e o corpo interno dos molhes constam no relatório de estabilidade dos molhes para o aprofundamento do canal para 14 metros, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros extraídos do relatório.

	Coesão (c' - kPa)	Angulo de Atrito (ϕ - °)	Peso específico (γ - kN/m ³)
Areia	0	34	18
Corpo interno-Molhe	10	30	16
Enrocamento - Molhe	0	40	20

Fonte : LFPS, 2009 - Adaptado

Os demais parâmetros, referente às diferentes camadas, foram obtidos pelos ensaios geotécnicos com as correlações apresentadas a seguir. Os dados fornecidos pelo SPT possibilitaram visualizar a estratigrafia dos perfis, e a continuidade dos mesmos no percurso do berço até o mar. Do boletim do ensaio CPT-u, são extraídas informações como: resistência de ponta, q_c ; atrito lateral, f ; poropressões na ponta, u_p , na base do cone, u_b e no topo da luva de atrito u_s . Com esses valores pode-se determinar, a razão de pré-adensamento da argila, com as equações 4 e 5.

- E a razão de pré-adensamento (OCR):

$$\frac{(\quad)}{(\quad)} \quad \text{Equação 4}$$

$$\frac{(\quad)}{(\quad)} \quad \text{Equação 5}$$

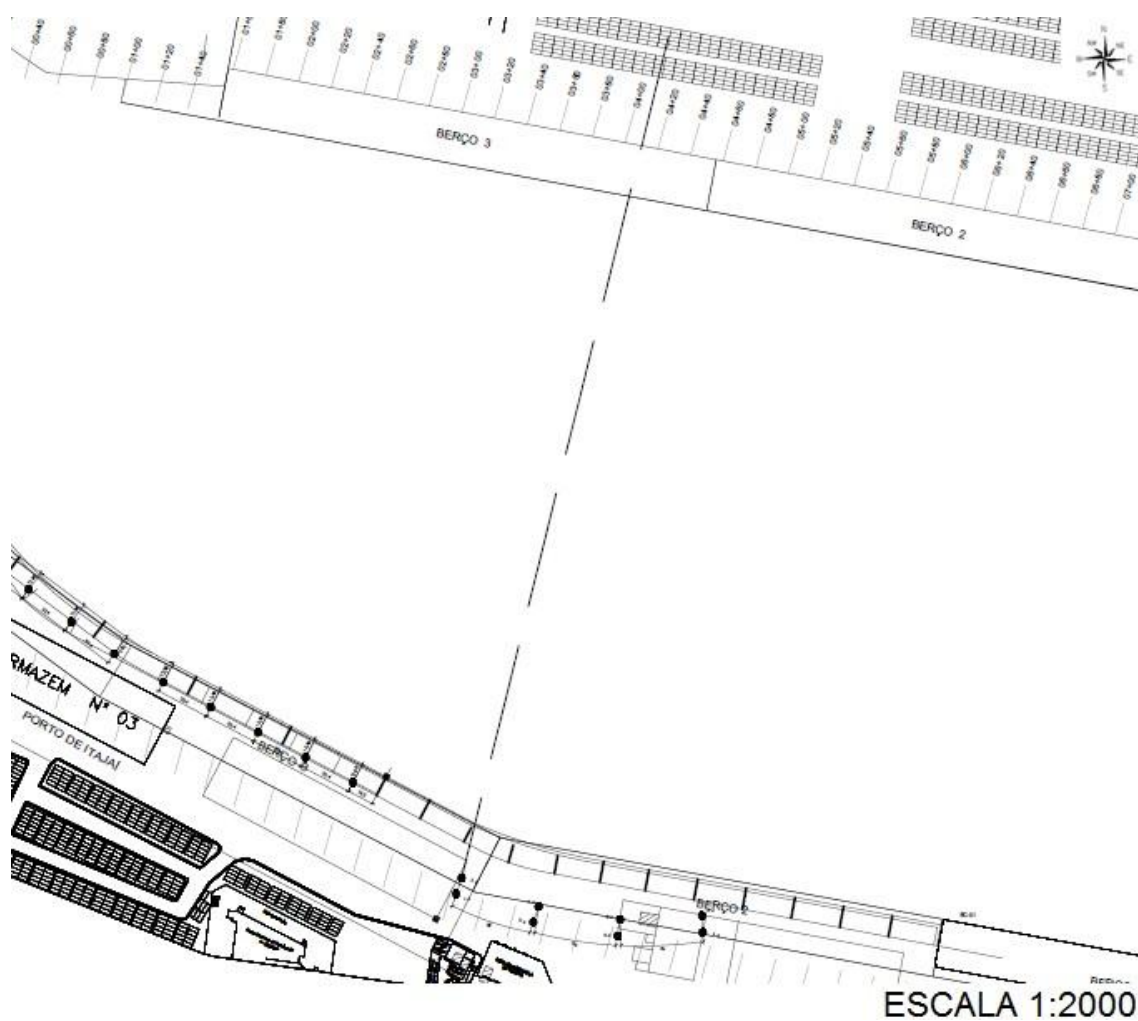
E do ensaio de palheta, pode-se obter o valor da resistência não drenada das camadas. Nos boletins essa informação já é fornecida, podendo ser encontrada pela equação 6.

$$\text{—} (\quad) \quad \text{Equação 6}$$

3.1 Seção 1

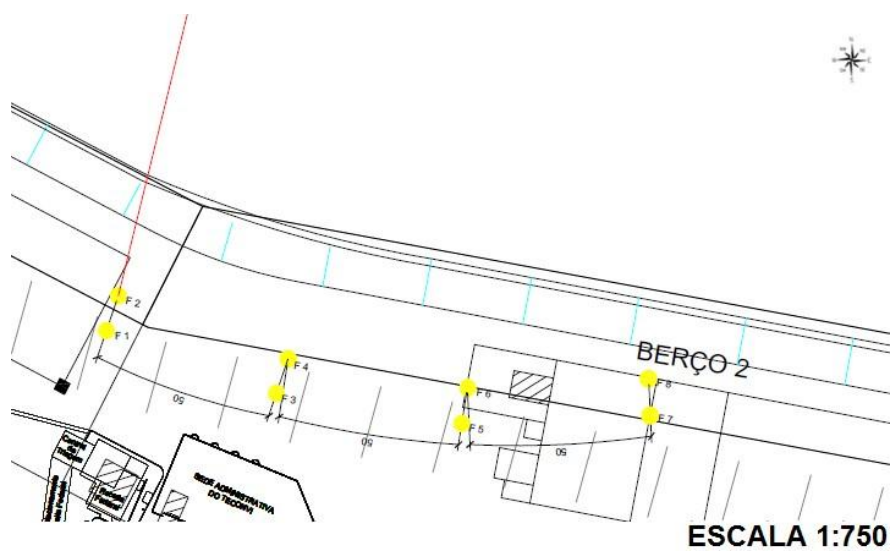
Para a seção 1, o conjunto de dados foi baseado em uma sondagem SPT, realizada em 2008, na região do berço 2, conforme a planta de localização mostrada na Figura 17. Nesse período houve a ruptura dos berços 1 e 2, e obras emergenciais foram necessárias. Para as plantas de localização a linha tracejada são as linhas representativas da seção.

Figura 17 – Planta de localização dos dados da seção 1.



Fonte : O Autor

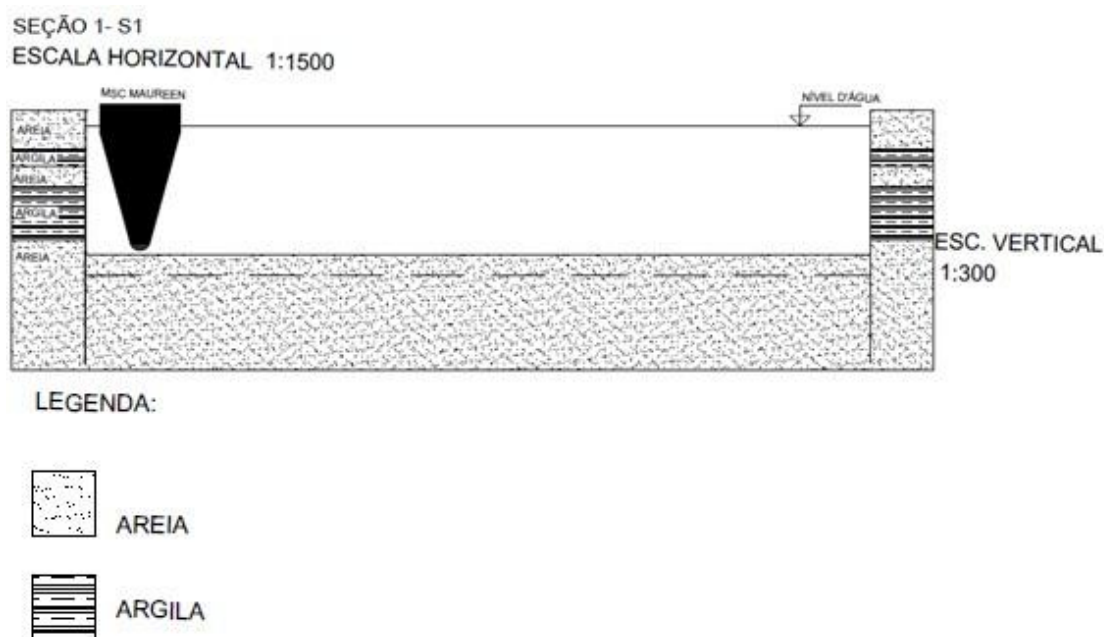
Figura 18- Pontos sobre o berço



Fonte : O Autor

Com o conjunto de dados fornecidos, o furo 2 (F2) mostrado anteriormente na Figura 18 foi adotado como representativo da seção. O perfil estratigráfico da seção 1 está representado na Figura 19. Por questões visuais, a escala vertical foi majorada, para melhor se visualizar cada camada. O navio MSC MAUREEN foi utilizado como referência, com dimensões 40 x 300 m e com o calado de 14,5 m. As seções e plantas de localizações estão disponíveis nos anexos. Nas seções estratigráficas, a linha tracejada é a representação da seção futura, com a nova profundidade do canal. As seções 1 e 2 diferem das demais pelo fato de comportarem estacas prancha, as quais são empregadas como forma de estabilização do terreno junto aos berços de atracação. Estas são mostradas nas Figuras 19 e 22

Figura 19- Representação do perfil estratigráfico seção 1.



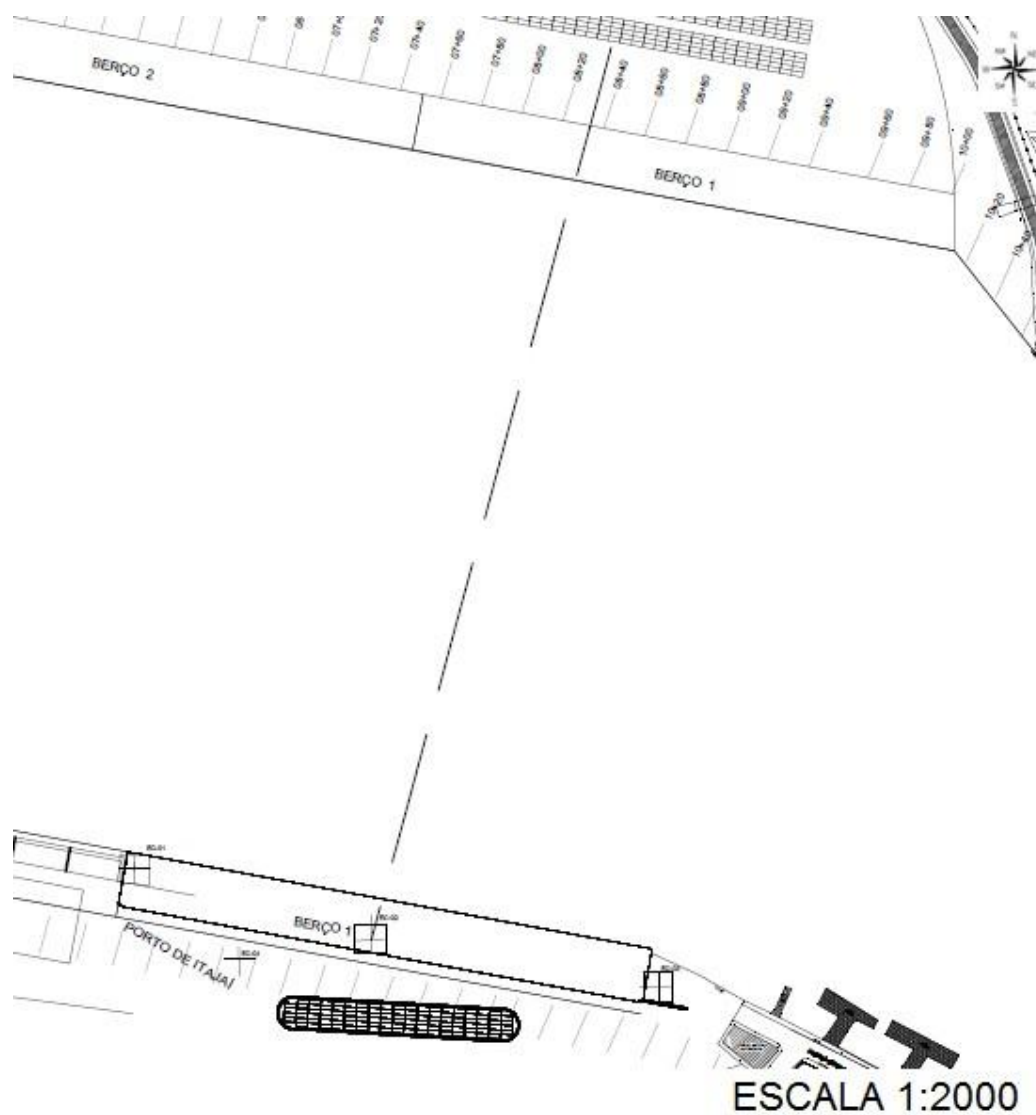
Fonte : O Autor

3.2 Seção 2

Na região da seção 2 foi efetuado um conjunto de ensaios de campo que compreende CPTu (com dissipação) e palheta, os quais datam de 2006. Esta região compreende a área dos berços 1 e 2 , como mostra a Figura 20.

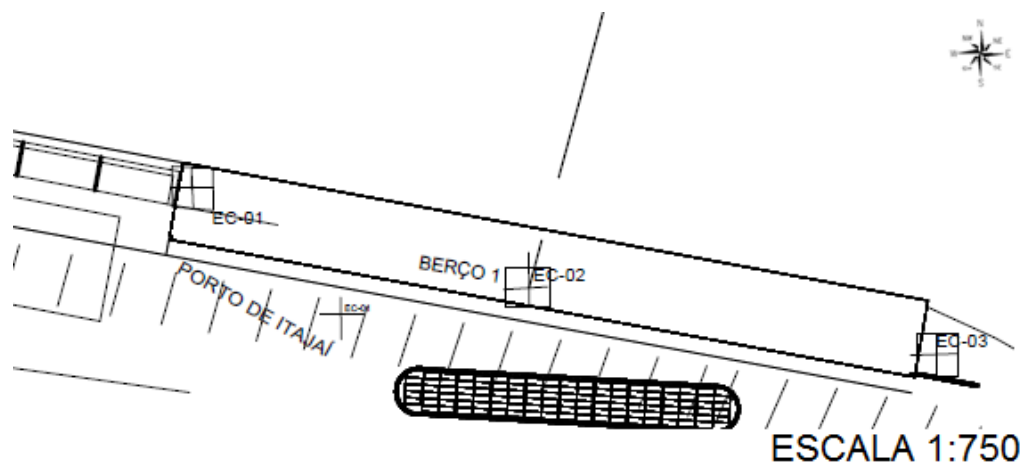
Dentre os nove pontos de ensaios, apenas os pontos EC-01,-02 e -03, possuíam dados dos ensaios de palheta e CPTu (dissipação de poropressão). Dentre eles foi escolhido o EC-02 para a representação da seção, como representado na Figura 21.

Figura 20- Planta de localização pontos de realização dos ensaios.



Fonte : O Autor

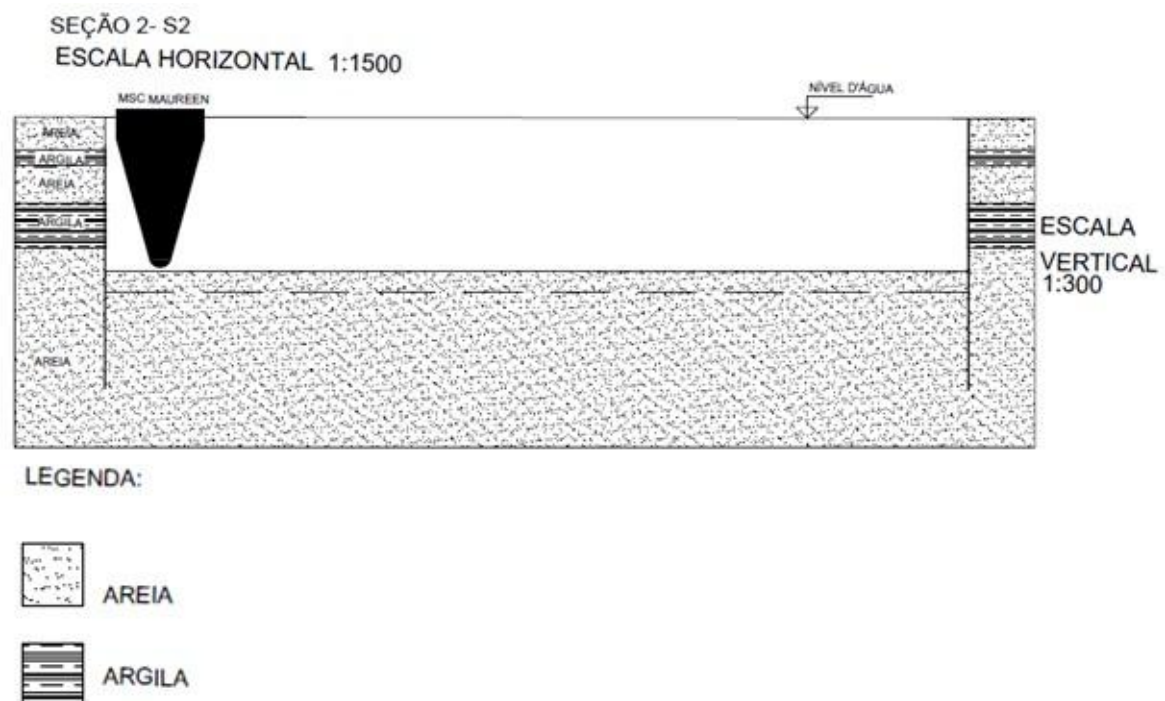
Figura 21 – Localização dos furos de sondagem



Fonte: O Autor

A estratigrafia desta seção, construída com os dados do ensaio, está representada na Figura 22.

Figura 22- Representação das seções- perfil estratigráfico seção 2



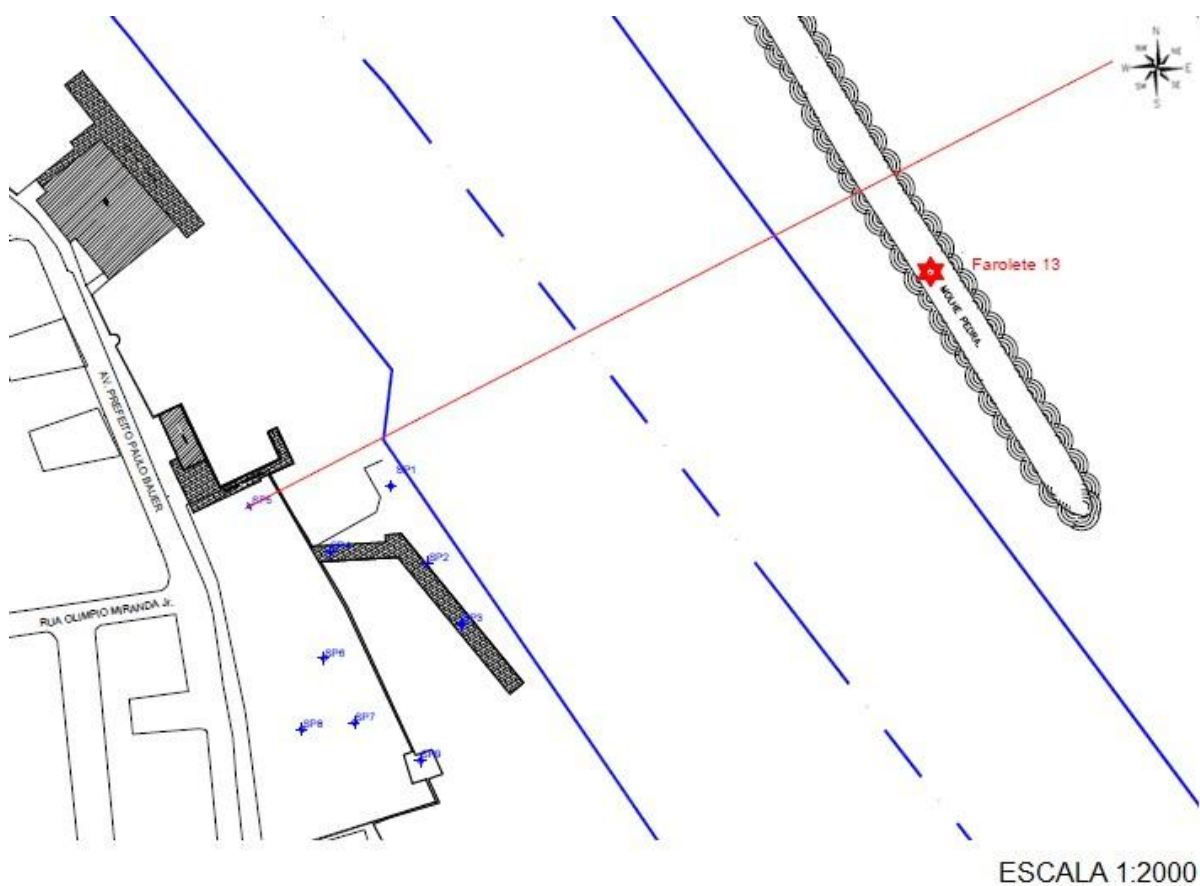
Fonte: O Autor

3.3 Seção 3

Na seção 3, na área da Marinha do Brasil, foram realizadas sondagens SPT em 2007. Como representativo da estratigrafia dessa área foi adotado o perfil obtido do furo de sondagem SP-5. A localização dos furos de sondagem é apresentada na Figura 23.

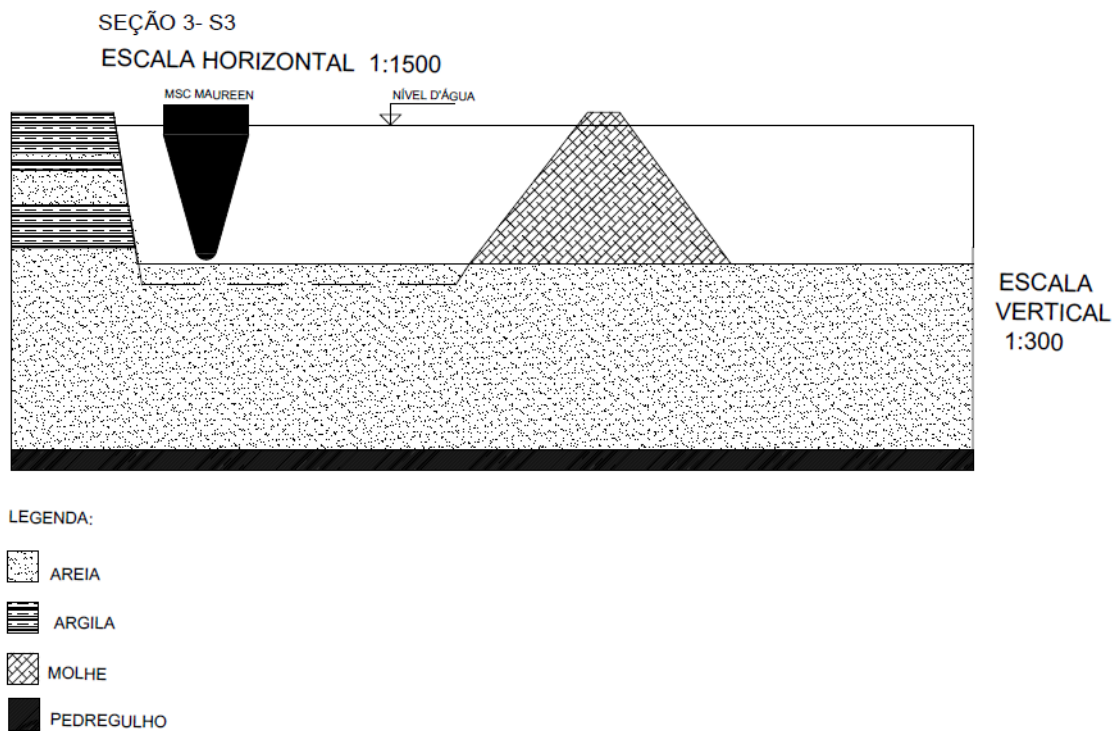
Com os dados do ensaio SPT, foi criado o perfil estratigráfico da seção. Neste caso a seção 3 corta o molhe como mostra a Figura 24. À direita, encontra-se Navegantes, e à esquerda a Marinha do Brasil.

Figura 23 – Planta de localização dos pontos da seção 3



Fonte : O Autor

Figura 24 – Perfil Estratigráfico seção 3



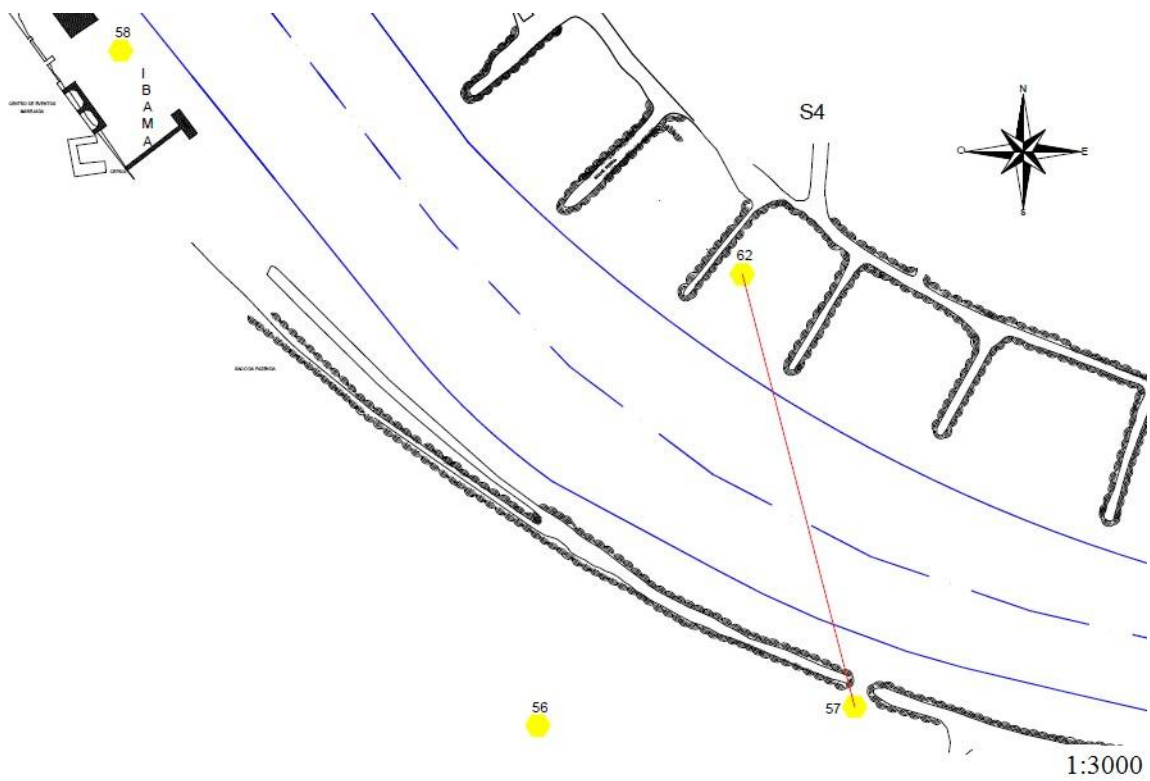
Fonte: O Autor

3.4 Seção 4

O conjunto de dados da seção 4 foram sondagens SPT realizadas em 2013, como mostra a Figura 25.

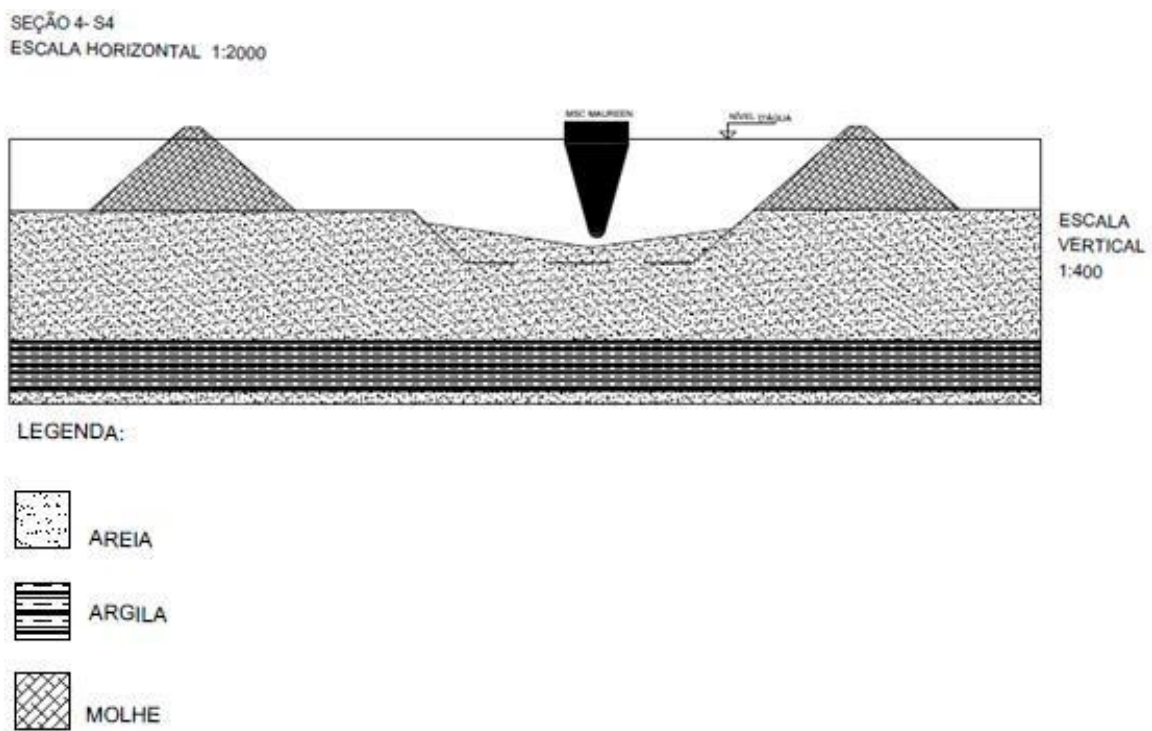
O programa de sondagem contou com a execução de quatro furos. Dentre esses foi escolhido o furo de número 62 como representativo do perfil estratigráfico local. O perfil estratigráfico da seção está representado na Figura 26.

Figura 25 – Planta de localização pontos de sondagem seção 4



Fonte : O Autor

Figura 26 – Perfil estratigráfico seção 4



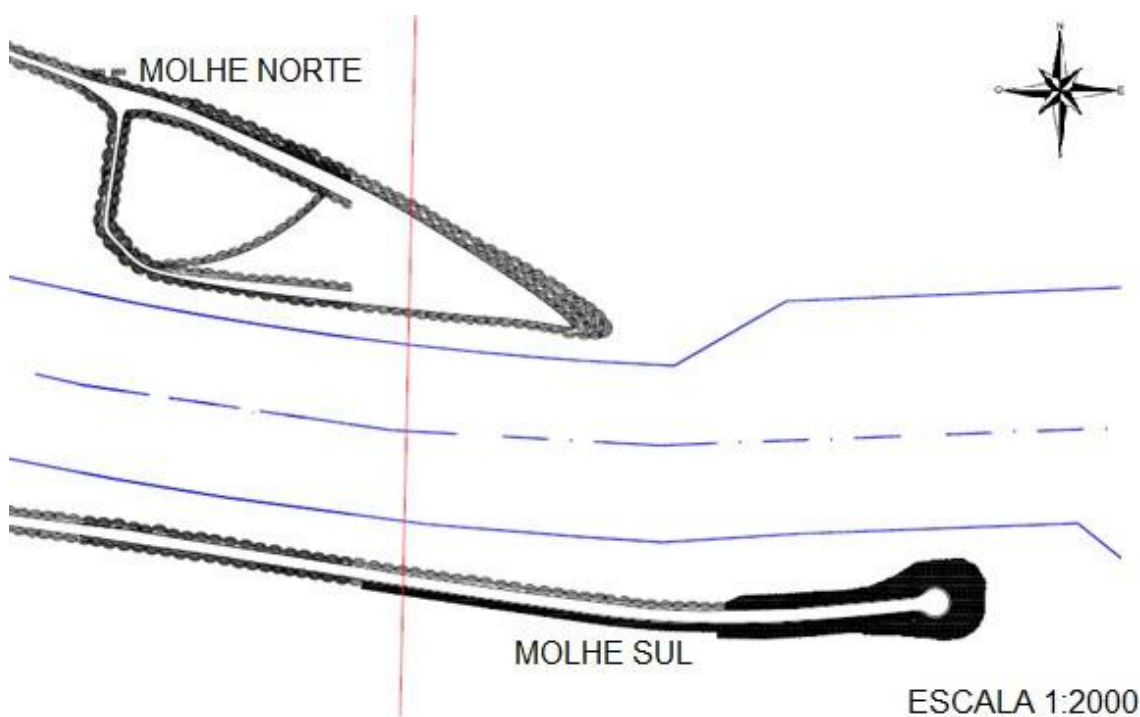
Fonte : O Autor

3.5 Seção 5

A seção 5 foi a única do conjunto de dados fornecidos que não se sabia a exata localização das sondagens. Sabia-se que as sondagens foram realizadas no molhe norte, como mostra a Figura 27.

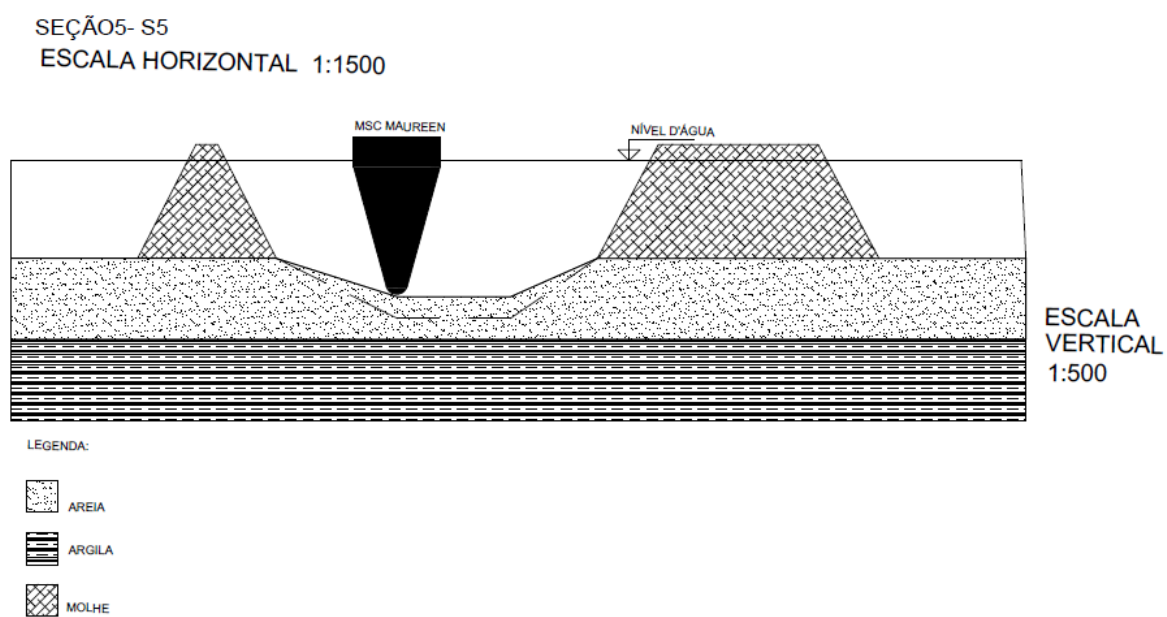
A Figura 28 representa a seção estratigráfica da seção 5, traçada em uma região que abarcasse os molhes existentes em ambos os lados do canal. Para a construção deste perfil havia um único boletim de dados de sondagens SPT completo, já que os demais boletins encontravam-se incompletos e por isso o perfil foi construído com este único conjunto de dados fornecido. A sondagem foi realizada em 2009.

Figura 27 – Planta de localização das sondagens seção 5



Fonte : O Autor

Figura 28 – perfil estratigráfico seção 5

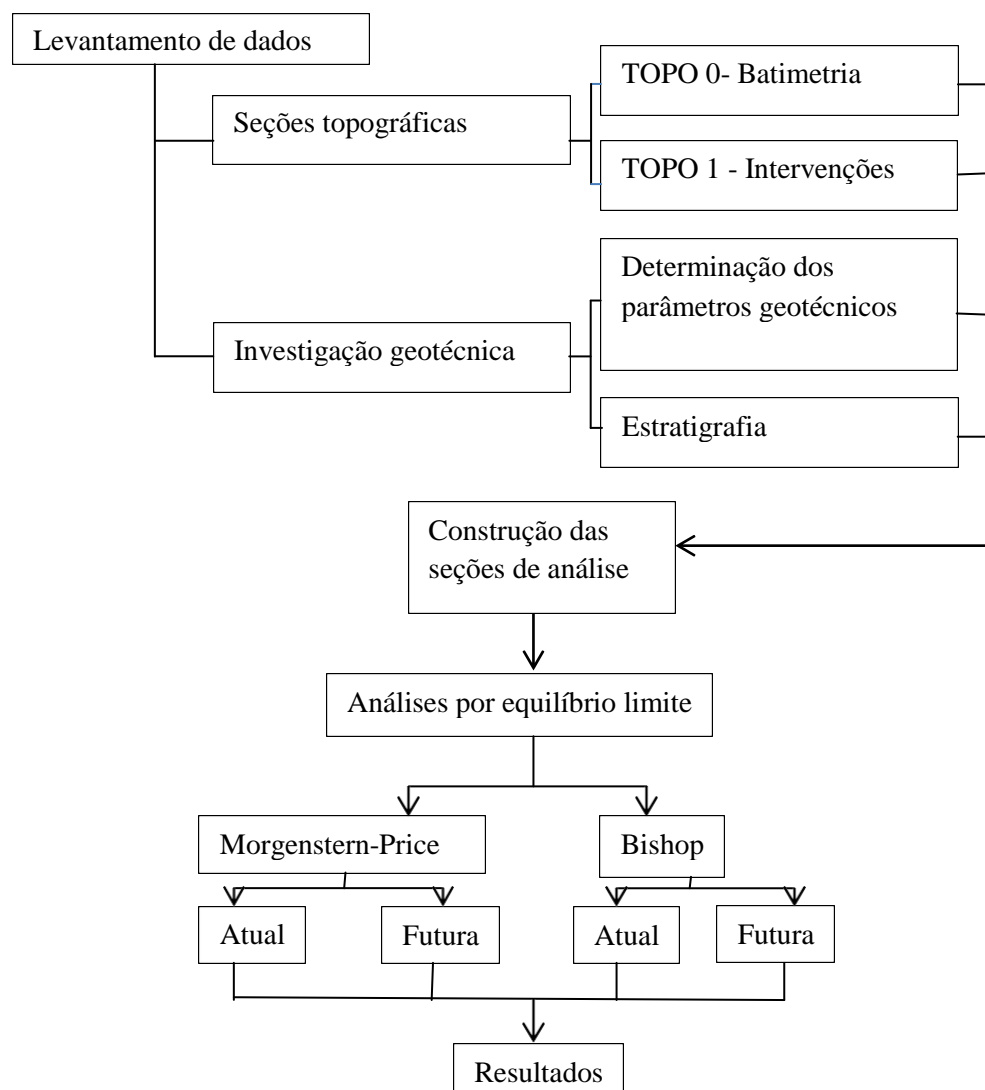


Fonte : O Autor

4. Metodologia

Este capítulo descreve os métodos para a análise da estabilidade. O procedimento de realização do trabalho está representado na Figura 29.

Figura 29– Fluxograma de organização para posterior análise



Fonte : O Autor

4.1. Levantamento de dados

As seções topográficas foram construídas a partir do levantamento batimétrico realizado pela Superintendência do Porto de Itajaí. O levantamento foi realizado em julho de 2016, por posicionamento eletrônico. As profundidades foram obtidas com emprego do sistema de monofeixe com frequência de 33kHz.

Com a utilização de imagens aéreas e com a batimetria foram construídas as seções, e identificadas todas as estruturas e obras presentes na costa.

Além da situação atual, o complexo portuário fará uma ampliação, aprofundando o canal, modificando posteriormente a localização da bacia de evolução. A profundidade atual está em 13 metros, e o projeto futuro alcança profundidade de 15 metros.

Outros dados disponibilizados pela superintendência, foram os dados de investigação geotécnica, dados de ensaios SPT, CPTu (com dissipação) e Palheta. O conjunto somava ao todo 29 dados de SPT, quatro ensaios de piezocone, 23 ensaios de dissipação de poro-pressão e 12 ensaios de palheta.

A partir dos boletins de sondagem, foram escolhidos os dados para a montagem das seções e determinados os parâmetros de comportamento do solo, a partir das correlações semi-empíricas apresentadas na seção 3. Os dados também foram utilizados para a construção dos perfis estratigráficos.

4.2. Construções das seções de análise

Com os dados anteriormente apresentados, foram construídas as seções de análise, atual e posterior à ampliação. As seções foram construídas em escala 1/1, e apresentam o perfil estratigráfico e o nível de água presente no rio, mas no capítulo anterior são mostradas com escalas horizontal e vertical diferentes.

As seções foram construídas e divididas em margem esquerda e direita. A margem direita corresponde a Navegantes e a margem esquerda a Itajaí. Tais seções foram construídas em CAD, em formato .dxf, e exportadas para um software de análise de estabilidade por equilíbrio limite, onde foram realizadas as análises.

Vale ressaltar que o complexo portuário do rio Itajaí-Açu possui portos internos conforme a definição vista na seção 2.1, por isso os efeitos das ondas e de marés não atingem diretamente os taludes das seções 1, 2 e 3, onde haverá somente, ondas advindas das manobras dos navios. Na seção 4, os taludes são estruturas de proteção, como espigões na margem direita, e o Molhe Sul, margem esquerda.

Na seção 5, não se considerou a ação da energia das ondas atuando nos molhes, uma vez que não se obteve acesso a estas informações, embora esta área esteja sabidamente sujeita a ação das ondas do mar.

Outra importante condição as quais as margens de rios estão expostas é a variação do nível de água, como apresentado na seção 2.4. Para o caso do rio Itajaí-Açu, o rio é perene, sua variação de nível de água é muito pequena, não passando de poucos centímetros por mês, por isto neste trabalho não serão consideradas as possíveis diferentes condições de água dentro do talude.

4.3. Análise para o equilíbrio limite

Foram estabelecidas cinco seções no rio, cada seção foi dividida em direita e esquerda, somando 10 seções, sendo 10 na situação atual e 10 na situação pós-ampliação. Ao todo foram analisadas 20 seções, analisadas para Morgenstern-Price e Bishop, chegando a um total de 40.

Para a realização das análises ainda foi aplicada uma sobrecarga no topo do talude, conforme a NBR 11692:2009. Segundo essa norma “todas as estruturas de contenção devem ser projetadas para suportar além dos esforços provenientes do solo, uma sobrecarga acidental mínima de 20kPa uniformemente distribuída sobre a superfície do terreno arrimado.” Isso é especialmente importante nas áreas de operação do Porto, em que o solo é contido por cortinas de estacas prancha.

A geometria e parâmetros foram analisados pelo programa que gerou uma grade de interações automática. Para realização das interações utilizou-se o programa Slide. As superfícies de ruptura com raios originados na grade e cortando o talude foram simulados e as superfícies de interesse eram as superfícies que chegavam ao pé do talude.

O *software* possui uma ferramenta que possibilita filtrar as superfícies por intervalos pré-estipulados ou em dada região. Assim, foram consideradas nas análises as superfícies de ruptura que mobilizavam os solos naturais, e não, por exemplo, possíveis indicações de ruptura nas faces dos molhes, as quais não são afetadas pelas obras de ampliação e atualmente não sofrem problemas de instabilização.

5. Resultados







Com a aplicação da metodologia anteriormente explanada, serão realizadas análises de equilíbrio limite nos taludes nas margens do rio. A aplicação do método será realizada nas seções 1 a 5.

Os perfis estratigráficos apresentados na seção 3, em conjunto com os parâmetros de comportamento do solo, apresentados no capítulo 4, serão implementados para a verificação da estabilidade do talude. Para facilitar a visualização os perfis serão divididos em margem esquerda, Itajaí, e na margem direita Navegantes.

Na Figura 30 está representada a orientação. O polígono hachurado representa o sentido de movimento, entrando para os terminais. Na margem esquerda fica localizada a cidade de Itajaí e, na direita, Navegantes.

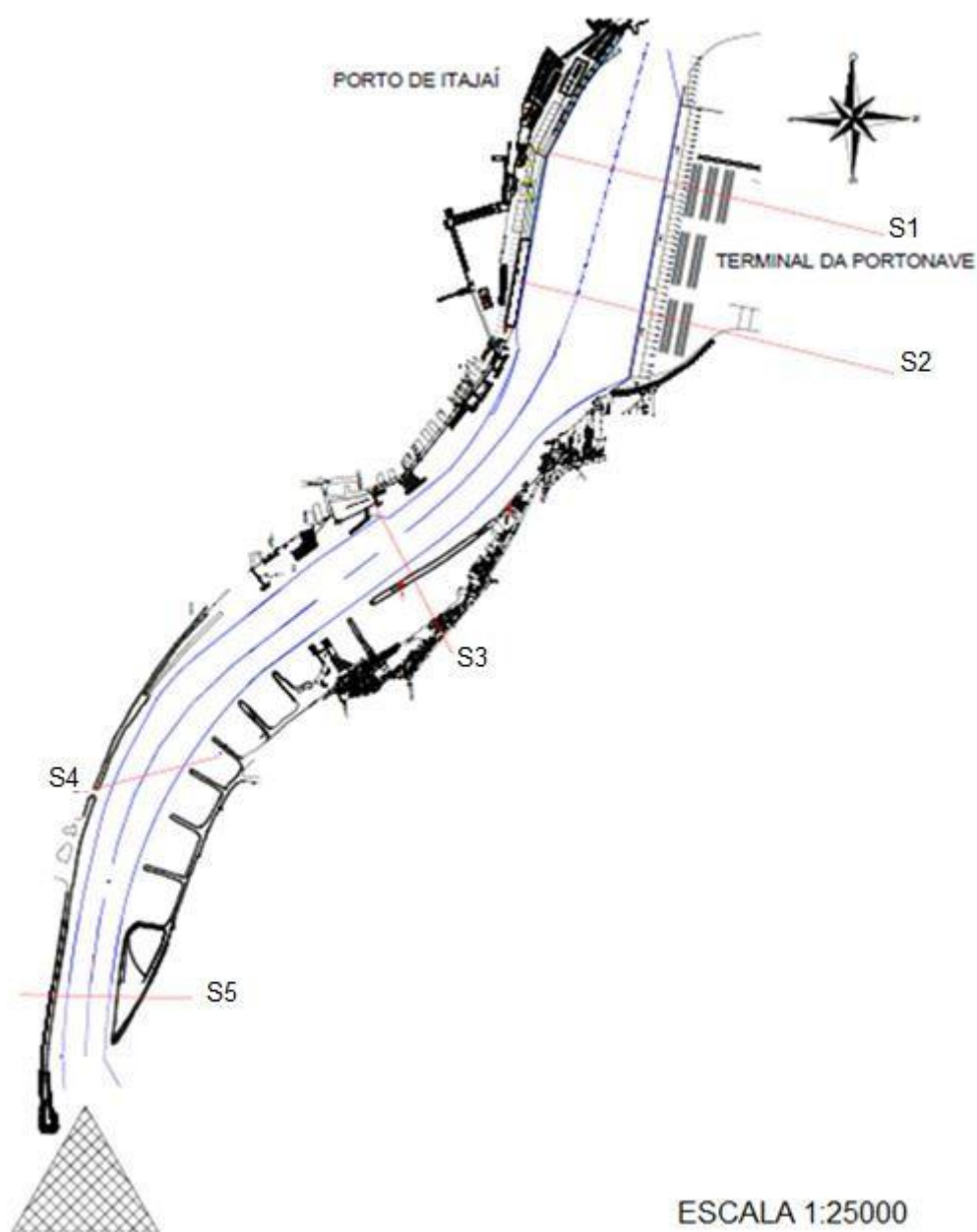
Os parâmetros de comportamento frente ao cisalhamento do solo estão expostos na Tabela 3. Na tabela estão mostrados todos os materiais que foram necessários nas análises e seus parâmetros, como densidade, coesão e ângulo de atrito .

Tabela 3- Parâmetros base para as análises

MATERIAL	COR	PESO ESPECÍFICO APARENTE NATURAL (kN/m³)	COESÃO (kN/m²)	PHI
AREIA		18	0	34
ARGILA		13	33	
CORPO INTERNO		16	10	30
ESTACA PRANCHA		60		
MOLHE		20	0	40
PEDREGULO		20		

Fonte : O Autor

Figura 30 – Orientação das margens. Direita-Navegantes/ Esquerda-Itajaí



Fonte : O Autor

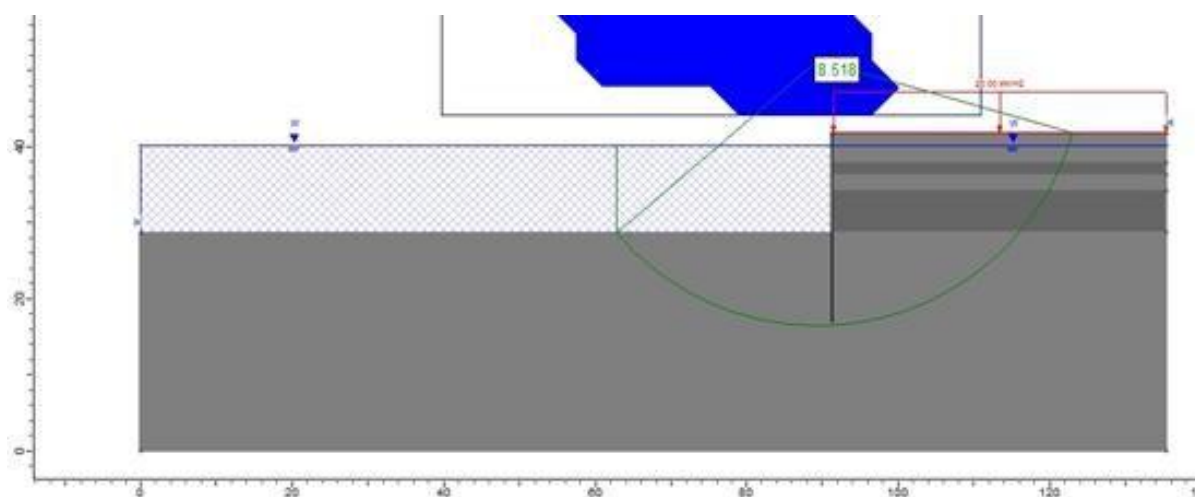
5.1. Seção 1

Um fato importante tanto para a seção 1 quanto para a seção 2, é que estas duas seções localizam-se nos berços dos terminais portuários. Com isto contam com uma estrutura de estacas pranchas, que busca promover a estabilidade do berço. As análises da seção 1 e 2 são similares, sendo que aqui unicamente a seção 1 foi apresentada.

5.1.1. Margem direita

A estabilidade foi calculada para Bishop (BI) e para Morgenstern-Price (MP). Os valores obtidos por ambos os métodos foram similares. Na seção 1, BI resultou em um FS de 8.50 e MP em 8.52, para a situação atual. A superfície de ruptura passa exatamente abaixo da cortina de estacas prancha, como mostra a Figura 31.

Figura 31 - Margem direita- Situação Atual – Morgenstern-Price

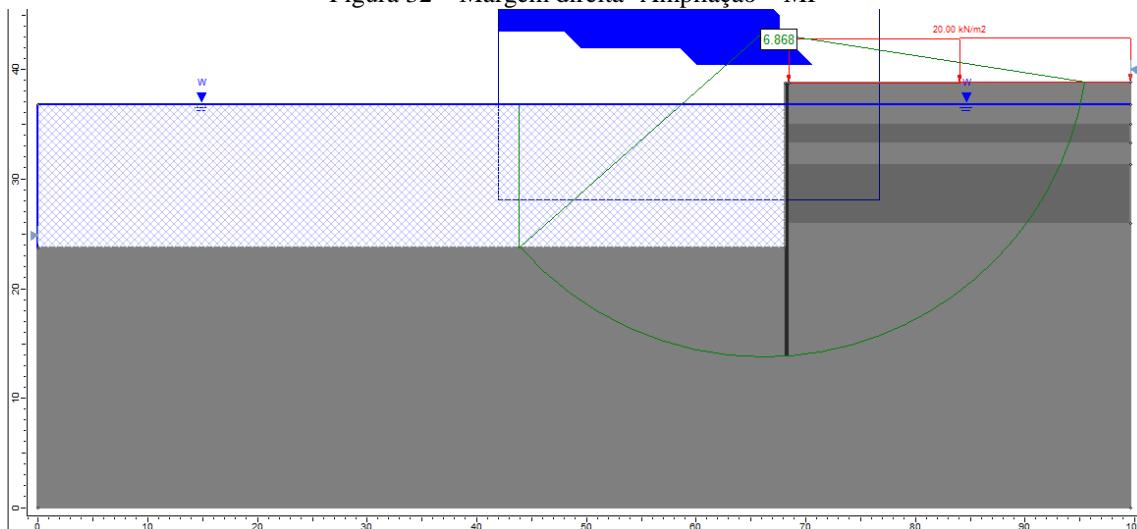


Fonte: O Autor

No caso da ampliação do canal, que consiste em um aprofundamento do rio em 2 metros, as simulações foram realizadas novamente com Bishop e Morgenstern-Price.

Como previsto a escavação no pé do talude é desfavorável à estabilidade do mesmo. Por mais que os valores estejam altos, comparados a situação atual houve um decréscimo dos FS. Para BI o valor caiu de 8,5 para 6,87, e para MP de 8,52 para 6,88, conforme mostra a Figura 32.

Figura 32 – Margem direita- Ampliação – MP



Fonte : O Autor

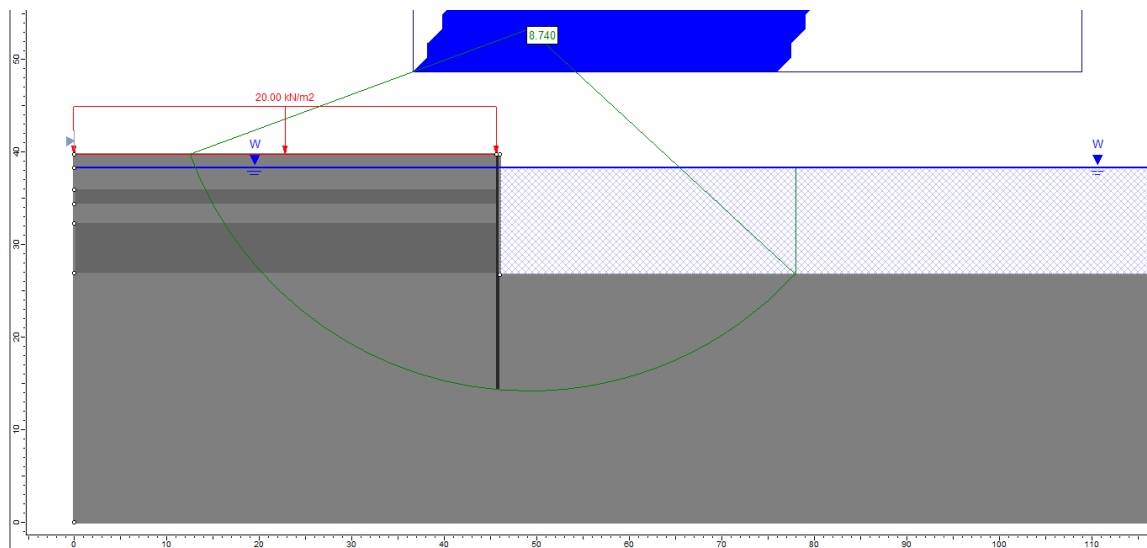
É importante salientar que os níveis de carregamentos impostos ao solo nas áreas dos berços são desconhecidos. A sobrecarga busca simular estes carregamentos, mas não garante que reproduza de fato as solicitações reais. Também não se avaliou os efeitos da escavação ao FS ao tombamento desta cortina

5.1.2. Margem esquerda

A Figura 33 representam as análises por Morgenstern-Price, para a situação atual para a margem esquerda. Os valores de FS obtidos são da ordem de 8,74 para BI e 8,75 para MP.

Para a ampliação, novamente houve uma diminuição nos valores de fator de segurança. Por Morgenstern-Price o FS obtido foi de 7,04 (vide Figura 34).

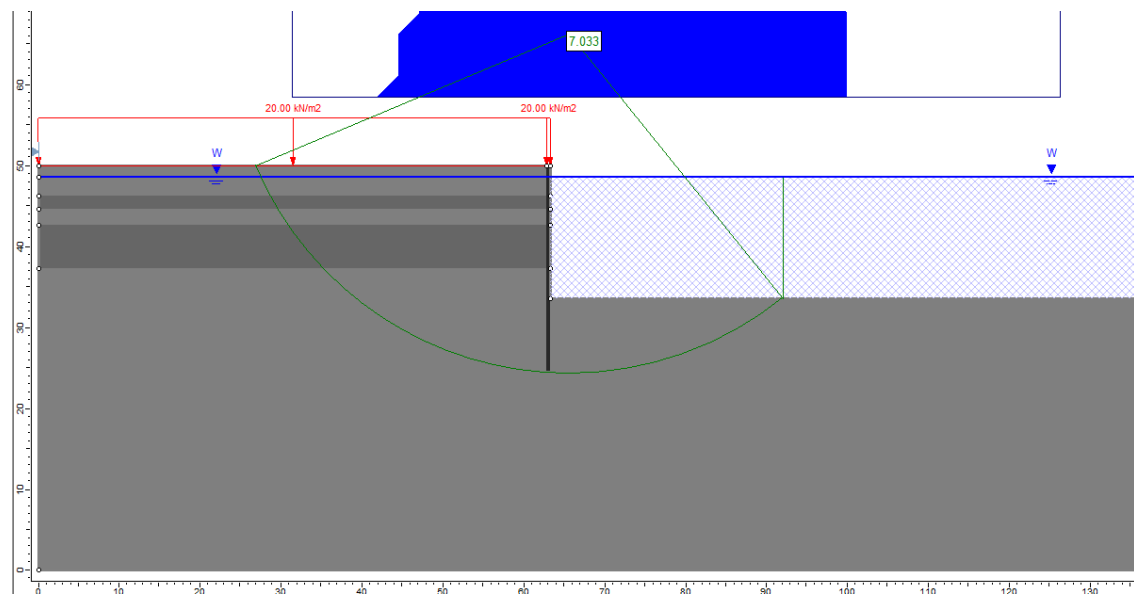
Figura 33 – Margem Esquerda – Atual - MP



Fonte : O Autor

Esta diminuição dos valores em relação a atual situação é esperada já que se escava o pé do talude. Os valores mesmo menores, 8,74 na atual situação para 7,03 para a futura situação, ainda mostram que os taludes estão estáveis e seguros.

Figura 34 – Margem Esquerda – Ampliação - MP



Fonte : O Autor

Com a aplicação da sobrecarga, similar ao caso da margem direita, a pretende-se simular os carregamentos desconhecidos, mas esta sobrecarga, não garante a reprodução das solicitações reais. Também, do mesmo modo para a margem direita, não se avaliou os efeitos da escavação ao FS ao tombamento desta cortina.

5.2. Seção 3

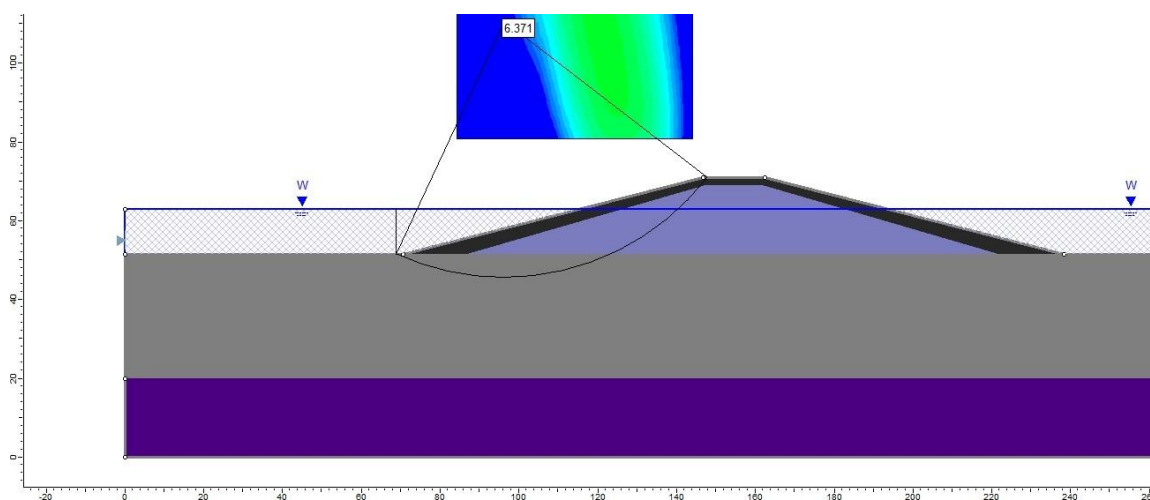
Nesta seção há o corte da área da Marinha, desde o lado esquerdo até o lado direito interceptando o molhe norte, que constitui uma estrutura de proteção.

5.2.1. Margem direita

Nesta margem a seção passa pelo molhe que está assentado sobre o rio. O talude de interesse neste caso é o talude da esquerda, onde haverá o tráfego das embarcações.

As sondagens realizadas no local cota de -13 até -33,5, areia, 30 cm de pedregulho e depois impenetrável. Para Morgenstern-Price, nesta seção o valor de FS é de 6,37. A linha preta representa esta superfície de ruptura de interesse, mostrada na Figura 35.

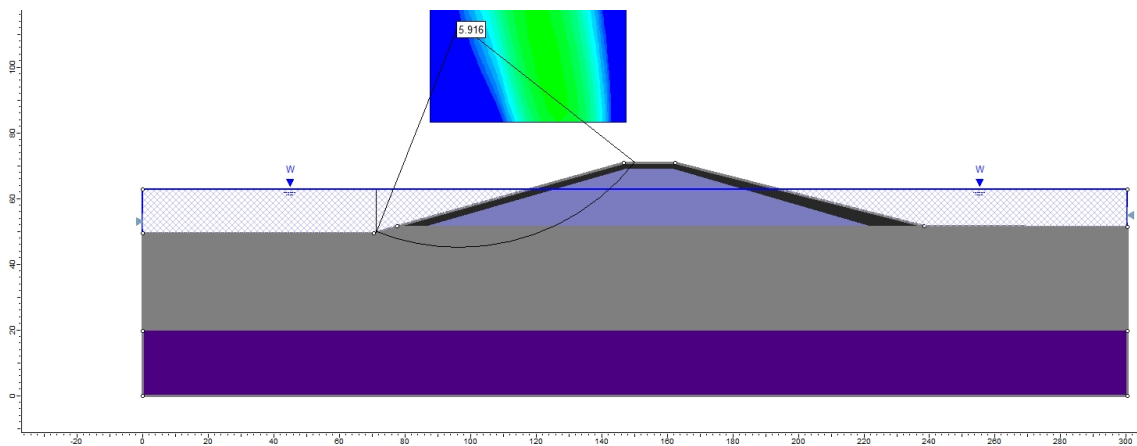
Figura 35 – Margem direita – Atual - MP



Fonte : O Autor

Para a ampliação o valor de FS passou para 5,92. Com o decréscimo esperado, ainda pode-se considerar os taludes estáveis e seguros. As superfície de ruptura está representada na Figura 36.

Figura 36 – Margem direita – Ampliação - MP



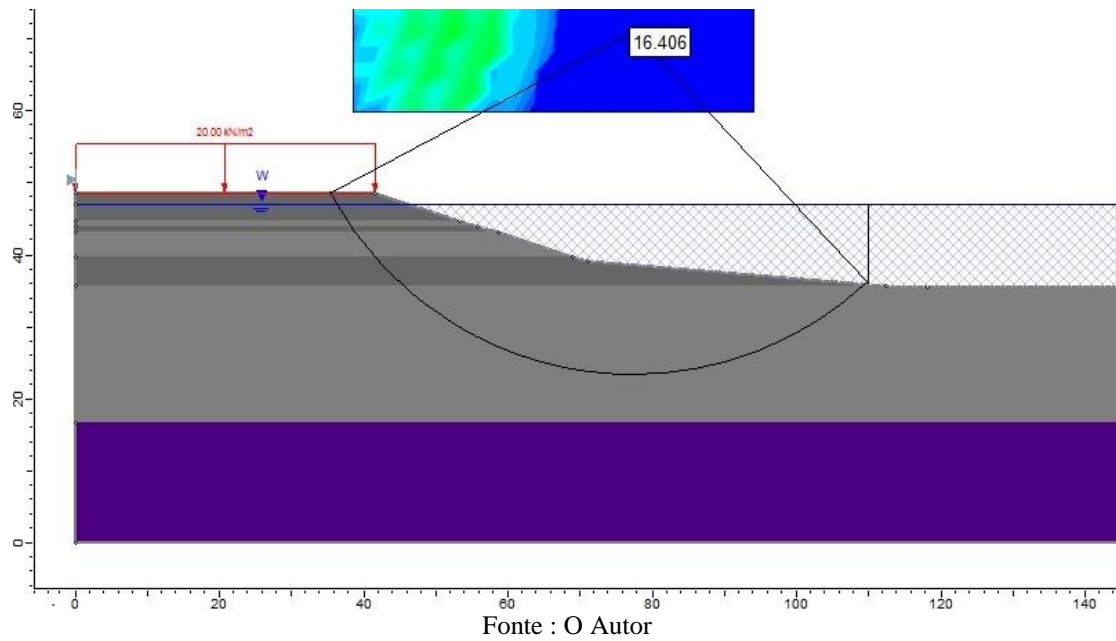
Fonte : O Autor

5.2.2. Margem Esquerda

A margem esquerda está na área da Marinha do Brasil, com o levantamento batimétrico foi possível averiguar que o talude desta margem da seção é bem abatido.

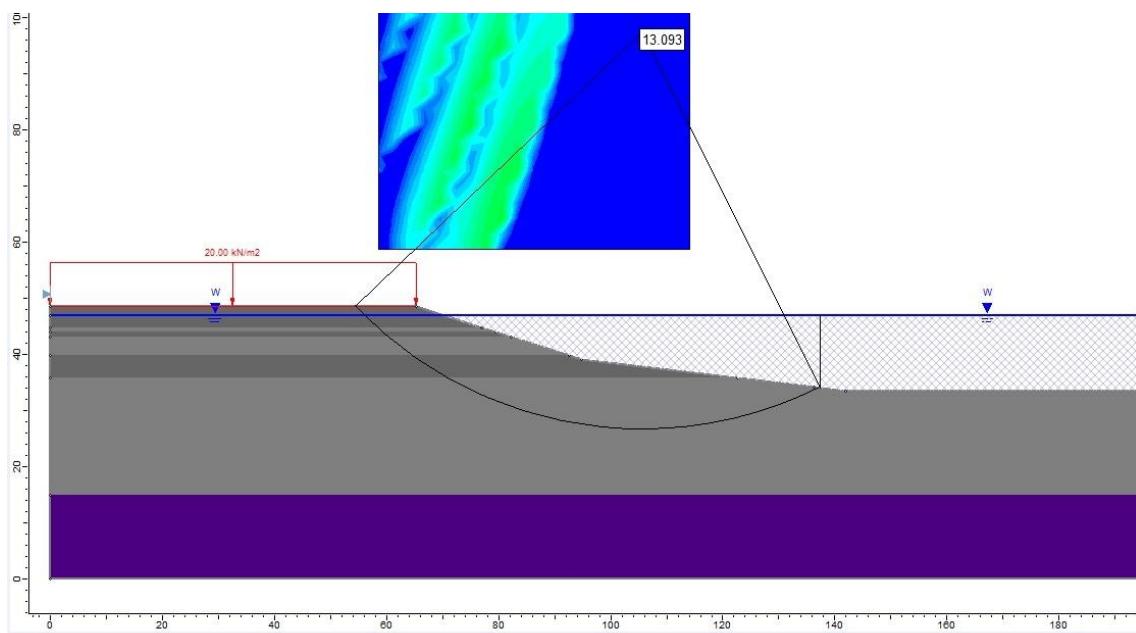
Na Figura 37 esta o resultado da simulação, para esta seção de análise o abatimento do talude também ajuda na estabilização do mesmo. O valor do FS e 16,406 para Morgenstern-Price.

Figura 37 – Margem esquerda – Atual – MP



Na ampliação o valor de FS passou para 13,093, havendo um decréscimo como o esperado. A superfície de ruptura está mostrada na Figura 38.

Figura 38 – Margem esquerda – Ampliação – MP



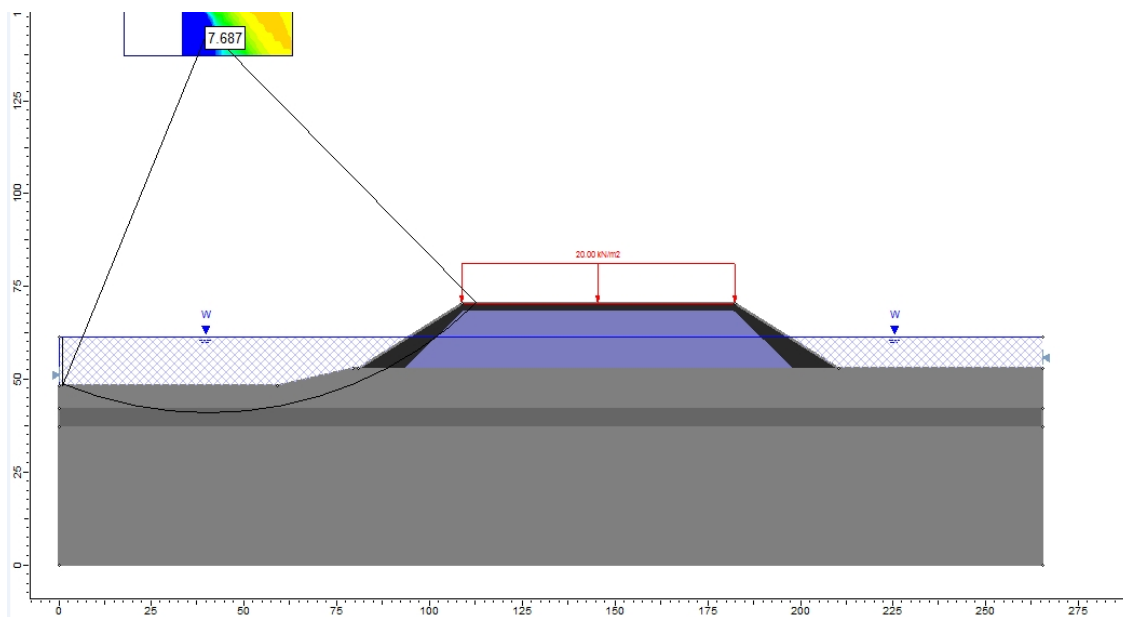
5.3. Seção 5

As seções 4 e 5 são similares. No texto serão apresentados os resultados obtidos para a seção 5. A entrada para o porto está representada nesta seção. Tal seção corta à direita o molhe norte e a esquerda o molhe sul.

5.3.1. Margem direita

De acordo com as análises efetuadas a seção com menor estabilidade é a de FS de 1,35, porém esta seção diz respeito a uma ruptura no corpo do molhe apenas. Esta ruptura deve-se à coesão nula atribuída ao material, e não corresponde ao que se observa nos molhes. Além disso, rupturas nesta região não são relevante para este trabalho. O valor de FS para ruptura no pé do talude é de 7,687, e a superfície relativa à este FS está mostrada na Figura 39.

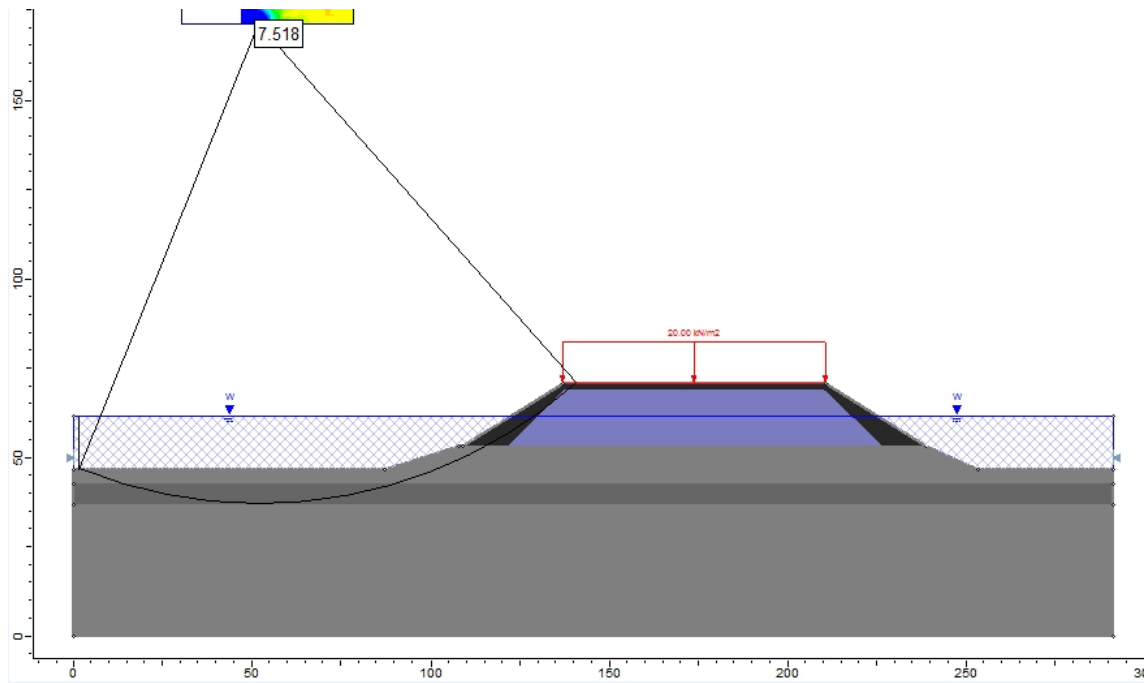
Figura 39 – Margem direita – Atual - MP



Fonte : O Autor

Para o caso da ampliação, novamente procuramos a superfície de ruptura no pé do talude, com valor de 7,518, mostradas na Figura 40.

Figura 40 – Margem Direita – Ampliação - MP

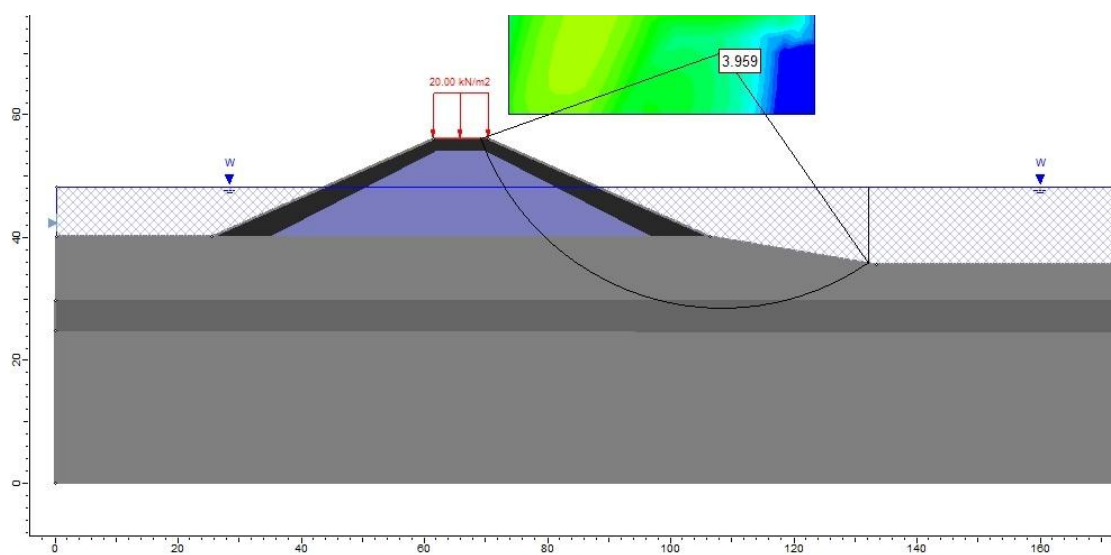


Fonte : O Autor

5.3.2. Margem esquerda

A superfície de interesse tem valor de FS 3,959. A representação da superfície de ruptura está apresentada na Figura 41.

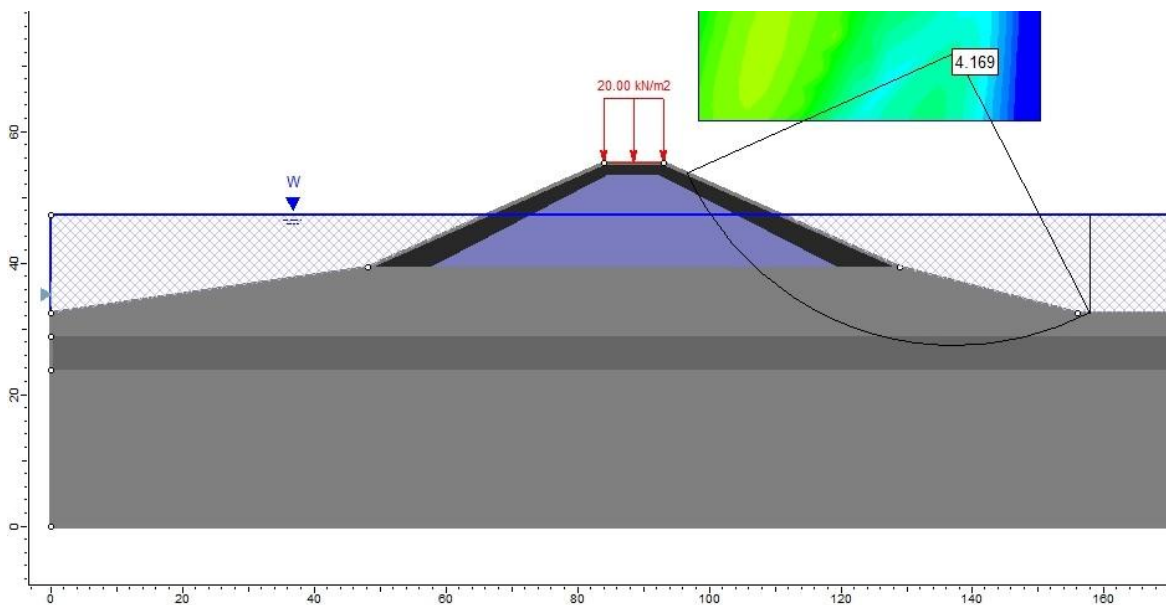
Figura 41 – Margem esquerda – Atual - MP



Fonte : O Autor

Para a ampliação o valor do FS para a superfície de ruptura é 4,17, conforme apresentado na Figura 42.

Figura 42 – Margem esquerda – Ampliação – MP



Fonte : O Autor

5.4. Análise dos resultados

Analizando as simulações mostradas nas seções 5.1, 5.2 e 5.3, verifica-se que, de um modo geral os FS obtidos são sempre altos, indicando que os taludes se encontram estáveis, mesmo considerando as alterações promovidas pelo aprofundamento do canal. Estas alterações resultaram em menores valores para FS, mas ainda assim esses valores permanecem altos. Todos os valores de FS estão apresentados na Tabela 4.

Na seção 4.3 discutiu-se a questão das ações de ondas e de marés sobre os taludes. Neste trabalho estes esforços não foram considerados para estas análises. Os resultados foram obtidos aplicando apenas as sobrecargas exigidas pela NBR 11682:2009.

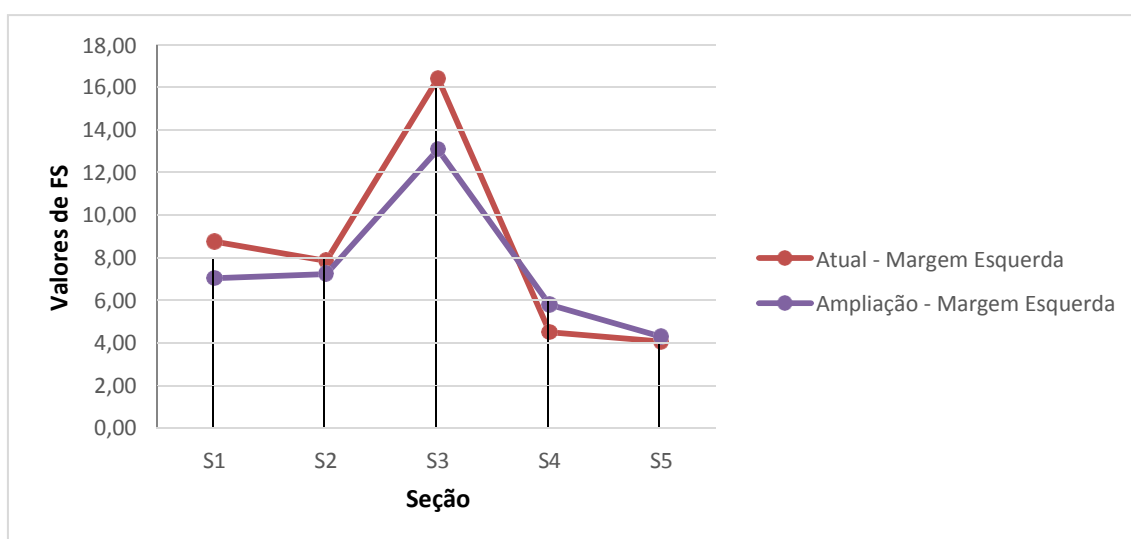
Tabela 4 – Valores de FS para Bishop e Morgenstern-Price

BISHOP			MORGENSTERN-PRICE	
	DIREITA		DIREITA	
	ATUAL	AMPLIAÇÃO	ATUAL	AMPLIAÇÃO
S1	8,5	6,87	8,52	6,88
S2	9,07	7,24	9,07	7,23
S3	6,36	5,91	6,37	5,92
S4	5,33	6,13	5,29	6,08
S5	7,7	7,59	7,69	7,52
BISHOP			MORGENSTERN-PRICE	
	ESQUERDA		ESQUERDA	
	ATUAL	AMPLIAÇÃO	ATUAL	AMPLIAÇÃO
S1	8,74	7,03	8,74	7,05
S2	7,85	7,23	7,85	7,24
S3	16,4	13,07	16,41	13,09
S4	4,49	5,79	4,46	5,8
S5	4,06	4,29	3,96	4,17

Fonte : O Autor

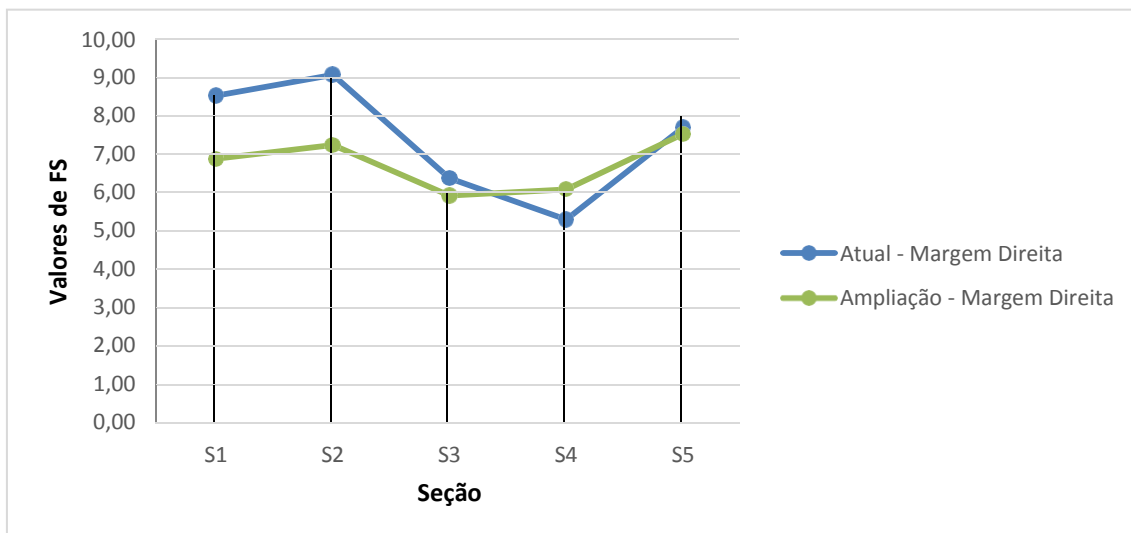
Os dados da tabela 4 são mostrados nos gráficos apresentados nas figuras 43 e 44. A Figura 43 apresenta o gráfico da margem esquerda com os dados atuais e de ampliação. Na Figura 44 o gráfico da margem direita.

Figura 43 – Fatores de segurança para os taludes da margem esquerda



Fonte: O autor

Figura 44 – Fatores de segurança dos taludes da margem direita



Fonte : O autor

Com a análise dos gráficos das Figuras 43 e 44, percebe-se que, de modo geral, as seções apresentaram maiores valores de FS para a situação atual do que para a futura situação de ampliação. Somente na seção 4 verificou-se um valor de FS maior posterior a ampliação do que para a condição atual.

De forma geral, a margem direita, Navegantes, está mais estável, do que a margem esquerda Itajaí. O pico observado na Figura 44 é o maior valor de FS para todas as análises, este valor é representativo da seção 3. Este valor pode ser explicado pelo abatimento do talude deste lado do rio. Em contra partida para a mesma margem o menor valor de FS na seção 5. Esta seção é a seção entre o canal de acesso e o mar, e a seção topográfica é delimitada pelos molhes sul e norte. Esta seção está em contato direto com as ações das ondas

O valor do FS se elevou na seção 3, da margem esquerda no caso da ampliação. Do mesmo modo como o FS para esta superfície já era maior do que as demais seções, por conta da geometria abatida do talude, pode-se considerar que o talude teria sua topografia um pouco mais abatida com a ocorrência das obras de ampliação.

6. Considerações finais

6.1. Conclusões

Os dados do levantamento batimétrico demonstraram uma topografia contínua no traçado do rio. O levantamento ainda auxiliou na identificação dos taludes e na posição dos molhes. Aliado aos dados de batimetria os boletins de sondagens, auxiliaram na criação da estratigrafia do local.

Além da estratigrafia do local os boletins de sondagens forneceram embasamento para aquisição de dados de parâmetros de comportamento do solo.

De um modo geral, ao longo do rio, a partir da cota -13 existe uma camada de areia, esta camada estava presente em todas as sondagens. Já a camada de argila que deveria aparecer na cota de -35 não foi constante. Em alguns trechos depois da camada de areia existia pedregulhos, e posteriormente rocha.

As margens do rio podem ser divididas em 3 categorias. Na categoria 1, os taludes são protegidos por estruturas de estacas prancha, localizados nos berços de atracação dos terminais, seções 1 e 2. São taludes com geometria perpendicular ao leito do rio. A categoria 2 diz respeito a taludes como os mostrados na seção 3, que possuem taludes expostos em contato direto com a água, estes taludes possuem inclinações menores. Na categoria 3, os taludes são compostos pelos corpos de molhe, que correspondem às seções 4 e 5.

As seções 4 e 5 diferem da seção 3, pelo material que estará em contato com a água. No caso da seção 3 o talude é composto por diferentes solos, e no caso das seções 4 e 5, o material de contato direto com a água são tetrápodes, que são projetados para dissipar a energia de movimento da água e diminuir a velocidade.

A topografia atual do canal está segura e estável com valores na margem direita de 5,29 na seção 4 até 9,07 na seção 2, e na margem esquerda, 3,97 na seção 5 à 16,41 na seção 3. Comparando as duas margens do canal em perfil, a seção 1 possui valores mais parelhos, e a seção 3 a maior diferença entre os lados na mesma seção, 6,37 margem direita atual e 16,41 margem esquerda atual. Os valores de 2, 4 e 5, por mais que nos seus valores sejam um pouco distantes, possuem valores mais próximos comparados à seção 3.

Após a ampliação, os valores de FS na margem direita vão de 5,92 na seção 3, á 7,52 na seção 5. Comparados a anterior a ampliação, houve um decréscimo destes valores, sendo que na seção 5 o valor se alterou pouco, somente na primeira casa decimal depois da vírgula. Esta sutil diferença pode ser explicada pelo fato da seção 5 ter em suas margens molhes, e não taludes de matérias expostos.

Ainda analisando os dados da tabela 2, verifica-se que os valores de FS são mais próximos na margem direita, e na margem esquerda um há pico na seção 3. Analisando o canal em perfil, os valores da margem direita comparada a margem esquerda mantém o mesmo padrão da situação atual, onde os valores da seção 1 são parecidos, da seção 3 ainda há uma grande diferença entre as margens e para 2,4 e 5, há uma pequena variação de valores entre esquerda e direita.

Com base nestas informações pode-se verificar que as estruturas estão estáveis e seguras. Por mais que a obra de implantação ocorra todas as margens ainda permanecem estáveis e com elevados valores de FS.

Do conjunto de dados geotécnicos fornecidos, alguns datam 10 anos atrás. Durante estes 10 anos houve modificações na topografia do canal, algumas obras emergenciais de retificações de berços destruídos por enchentes, mas entende-se ainda que tais dados continuem sendo válidos para as análises.

O porto já sofreu com duas grandes enchentes que causaram a interrupção das operações e destruíram parcialmente as estruturas, em 2008 e 1983. Somente nestes casos que foram verificados problemas nas margens do rio.

6.2. Recomendações para trabalhos futuros

Verificar a estabilidade frente ao tombamento das cortinas de estaca prancha

Analisar a aplicação de tirantes nas cortinas nos berços do rio

Análise posterior à mudança da bacia de evolução

Incluir pesos reais dos equipamentos atuantes nos berços e ações de ondas do mar (seção 5) e ondas advindas do movimento das embarcações (demais seções)

Referências

- AGENCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Definições de termos e conceitos técnicos utilizados neste anuário**. 2009. Disponível em: < <http://www.antaq.gov.br/porta/anuarios/portuario2009/termos.htm>>. Acesso em 07 de Maio de 2016.
- ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. **Engenharia Portuária**. São Paulo: Blucher, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS (ABNT), NBR 10905:1989 – Solo- Ensaio de palheta *in situ*. Rio de Janeiro, 1989.
- _____. NBR 12069:1991 – Solo- Ensaio de penetração de cone *in situ*. Rio de Janeiro, 1991.
- _____. NBR 6484:2001 – Sondagens de Simples Reconhecimento- Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. NBR 11682:2009 – Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. NBR 11682 – Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.
- BAIRRÃO, Miguel; et al. Galgamento de uma estrutura portuária protegida por um quebra-mar submerso: o caso do Porto de Leixões, Portugal. **Revista de Gestão Costeira Integrada**. v.16, n. 2, p. 121-131,2016.
- BERNI, Ricardo dos Santos. **Uso do Gabião Para Proteção de Margens de Cursos D'água: O Caso do Rio Tietê**. 2007. 72p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Curso de Engenharia Civil. Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2007.
- BRASIL. **Sistema Portuário Nacional**. Secretaria de Portos. Disponível em: <http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/sistema-portuario-nacional>. Acesso em: 07 maio 2016.
- _____. **Setor portuário deve receber investimentos de até R\$ 36 bi em três anos**. Secretaria de Portos. Disponível em: < <http://www.portosdobrasil.gov.br/home-1/noticias/setor-portuario-deve-receber-investimentos-de-ate-r-35-bi-em-tres-anos>>. Acesso em: 07 maio 2016.
- _____. Lei N° 12.815, de 5 de Junho de 2013. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários. Brasília: Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos.
- _____. Sistema Portuário Nacional. Secretaria de Portos. Disponível em: <http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/sistema-portuario-nacional>. Acesso: 07 de nov. de 2016.
- BRAY, R.N.; BATES, A.D.; LAND, J.M... *Dredging A Handbook for Engineers*, 2nd ed, Butterworth-Heinemann, 1996.

BRIGHETTI, Giorgio; MARTINS, José Rodolfo Scarati. **Estabilização e Proteção de Margens**. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade do estado de São Paulo. Julho 2001. (mimeo).

BRITISH STANDARD INSTITUTION, **BS 6349-2** - Maritime structures-Part 2: Design of quay walls, jetties and dolphins . BSI, Londres, 1988.

_____. **BS 6349-6** - Maritime structures-Part 6: Design of inshore moorings and floating structures. BSI, Londres, 1989.

_____. **BS 6349-3** - Maritime structures-Part 3: Design of dry docks, locks, slipways and shipbuilding berths, shiplifts and dock and lock gates. BSI, Londres, 1991.

_____. **BS 6349-5** - Maritime structures-Part 5: Code of practice for dredging and land reclamation . BSI, Londres, 1991.

_____. **BS 6349-7** - Maritime structures-Part 7: Guide to the design and construction of breakwaters. BSI, Londres: BSI, 1991.

_____. **BS 6349-4** - Maritime structures-Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems. BSI, Londres, 1994.

_____. **BS 6349-1** - Maritime structures-Part 1: Code of practice for general criteria. BSI, Londres: BSI, 2000.

DAS, Braja M. **Fundamento da engenharia geotécnica**. 6ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Batimetria**. 19/01/2010. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/hidroviarias/hidroviarias-interiores/manutencao-hidroviaria/barimetria>>. Acesso em: 07 de maio de 2016.

ESCALANTE, Raul S., **Ingenieria de Dragado**, 2014. 170 p. Tema 7. Escuela de Graduados en Ingenieria Portuaria. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Abril de 2014.(mimeo).

FERREIRA, Italo O.; RODRIGUES, Dalto D; SANTOS, Afonso de P. SIMPOSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO. Recife. IV. 06-09 de Maio de 2012. Disponível em :< https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/GEODESIA/051_3.pdf>. Acesso em : 09 maio 2016.

FIORI, Alberto P.; CARMIGNANI, Luigi. **Fundamentos de Mecânica de Solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. 3ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GAO, Jay .Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations. **Progress in Physical Geography**. v.33, n.1, p.103–116, 2009.

GERSCOVICH, Denise M. S.. **Estabilidade de taludes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 192 p.

HEIDEMANN, M. **Caracterização Geotécnica de um Solo Residual de Granulito Envolvido em uma Ruptura de Talude em Gaspar – SC.** 2011, p. 178. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2011.

_____. **Estudo dos solos de uma encosta instável em São José – SC:** intemperismo e comportamento geotécnico. 2015. 299 p. Dissertação (Doutorado)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio grande do Sul – (UFRGS). Porto Alegre, 2015.

_____. **Estabilidade de Taludes e Encostas**, 18 set. - 02 out. de 2015. 36f. Notas de Aula. Mimeo.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PORTS AND HARBORS. **Canais de Acesso:** Um Guia para Projetos. Belgium: Tokyo: Permanent International Association of Navigation Congress (PIANC). dez. 2003. Disponível em: <http://proamaneus.com.br/ohs/data/docs/3/Norma_Pianc_para_canais_de_acesso.pdf>. Acesso em 07 maio 2016.

ITAJAÍ. LFPS. . **Análise da estabilidade dos molhes para o aprofundamento do canal para 14m.** Itajai, 2009

JAN DE NUL GROUP. Charles Darwin. Trailing Suction Hopper Dredger. Disponível em: <http://www.jandenul.com/sites/default/files/equipment-item/pdfs/01.tshd_en_-_v2013-2_-_charles_darwin.pdf>. Acesso em 07 maio 2016.

LIMA, Lilian R. S. **Dragagem, transporte e disposição final de sedimentos de leito de rio, estudo de caso:** Calha Do Rio Tietê - FaseII. 2008. 145p. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo USP, São Paulo, 2008.

MASON, Jayme. **Obras Portuárias.** Rio de Janeiro: Campus; Brasília: Portobrás, 1981.

MASSAD, F. **Obras de Terra – Curso Básico de Geotécnica.** 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION .U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. What is dredging? 29/01/2014. Disponível em :< <http://oceanservice.noaa.gov/facts/dredging.html>:> Acesso em 07 de maio de 2016.

PEREIRA, Jógerson Pinto Gomes ; BARACUHY, José Geraldo de Vasconcelos. **Ecobatimetria - Teoria e Prática.** Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008.

PORT Of Rotterdam. Havenbedrijf Rotterdam N.V. **Construction.** Maasvlakte 2. Disponível em:< <https://www.maasvlakte2.com/en/index/show/id/198/construction>> . Acesso em: 07 maio 2016.

PORTO de Paranaguá vai investir R\$ 394 milhões em novas obras de dragagem. 7/03/2015. **Cargo News.** Disponível em: <<http://www.cargonews.com.br/porto-de>>

paranagua-vai-investir-r-394-milhoes-em-novas-obras-de-dragagem/>. Acesso em: 07 maio 2016.

PORTO DE ITAJAÍ. **Agenda Ambiental local**. Itajaí 2012.

_____. **Autoridade Portuária**. Disponível em: <http://www.portoitajai.com.br/novo/>. Acesso: 02 abr. 2016.

PORTONAVE. **Dragagem do Itajaí Açu é realizada pela maior draga em operação do Brasil**. Disponível em:< <http://www.portonave.com.br/en/news/83-dragagemdoitajaiacurealizadapelamaiordragaemoperacaonobrasil.html>>. Acesso em 07 Maio 2016.

ROCHA, Rafael P. de O. Monitoramento de Dragagem de manutenção apoiado por dados de levantamento batimétrico. 2008. 173p Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Curso de Engenharia Civil. Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, SC, 2008.

RODRIGUES, Joaquim. **Solução Geotécnica para Tratamento do Solo de Fundação na Crítica Zona Portuária de Manaus, AM**. CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTECNICA. Goiânia GO. XVII. 2014. 8 - 13 de setembro de 2014. Disponível em:< http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobramseg/2014/599801_80_CHIBATAO.pdf>. Acesso em: 08 maio 2016.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. U.S. Department of the Interior. Bathymetry systems. Disponível em: <<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/bathy.htm>>. Acesso em : 09 maio 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG). **Notas de Aulas de Portos e Aeroportos, 2007**. Trabalho acadêmico (Apostila) Disponível em: < <https://civilsemestre5.files.wordpress.com/2014/02/modulo-02-01.pdf>>. Acesso em 09 maio 2016.(mimeo).

Apêndices

Apêndice I – Perfis estratigráficos

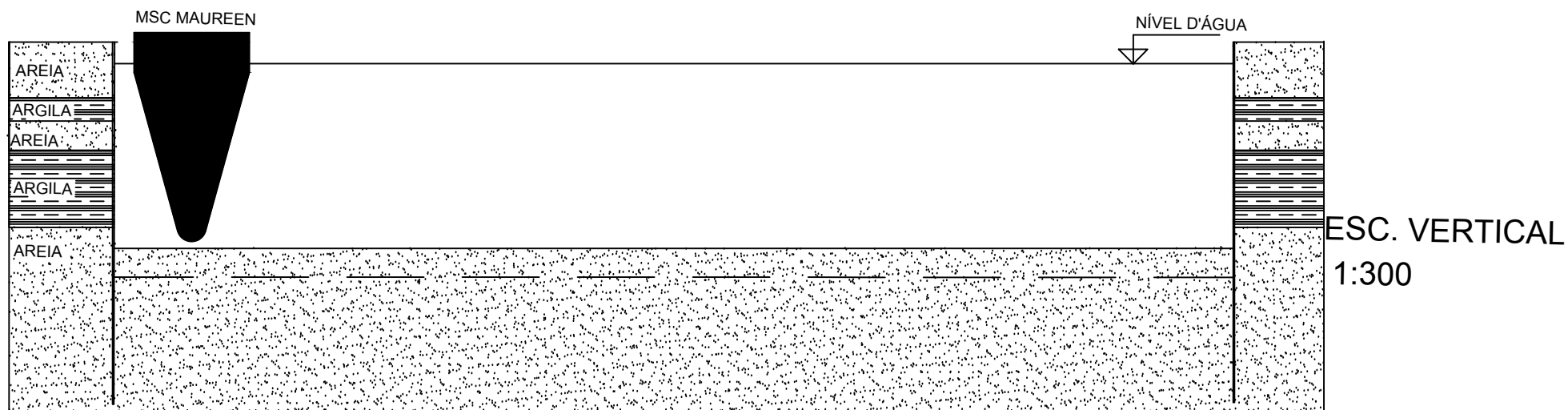
Apêndice II- Planta do canal

Apêndice III- Batimetria do canal

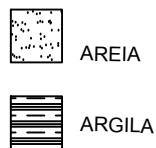
Apêndice IV- Seções de análise com os FS

Apêndice I- Perfis estratigráficos

SEÇÃO 1- S1 ESCALA HORIZONTAL 1:1500

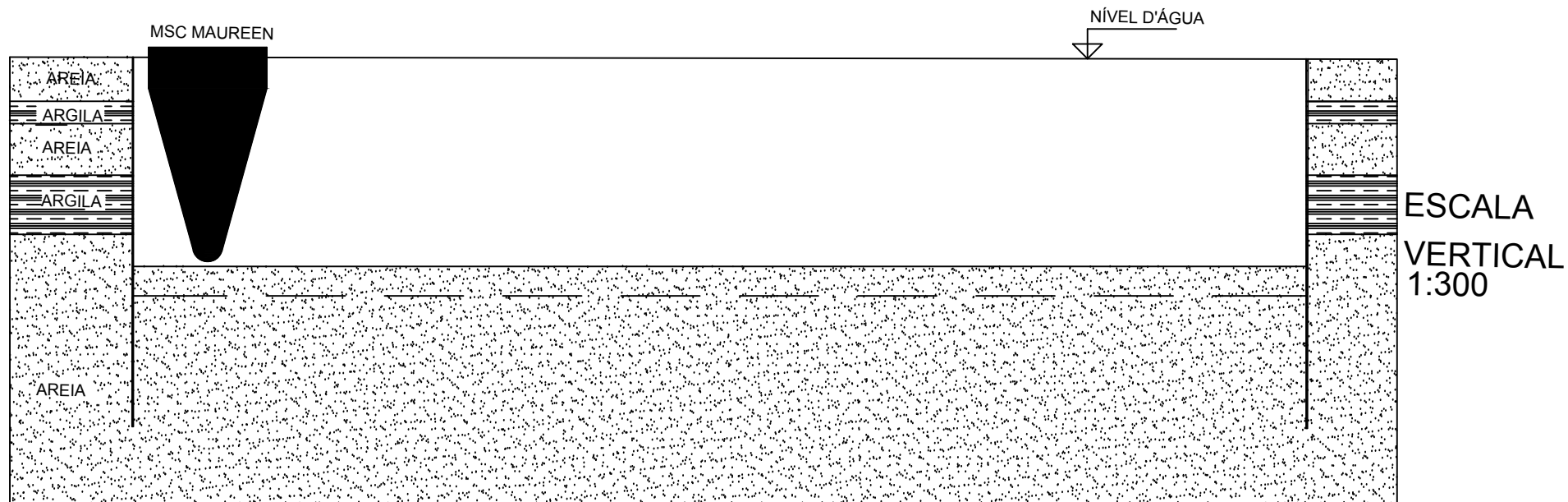


LEGENDA:



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA- CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE		PRANCHA
ARETHUSA NAARA GOEDERT - 11103774		1/7
ESCALA NO DESENHO		

SEÇÃO 2- S2 ESCALA HORIZONTAL 1:1500

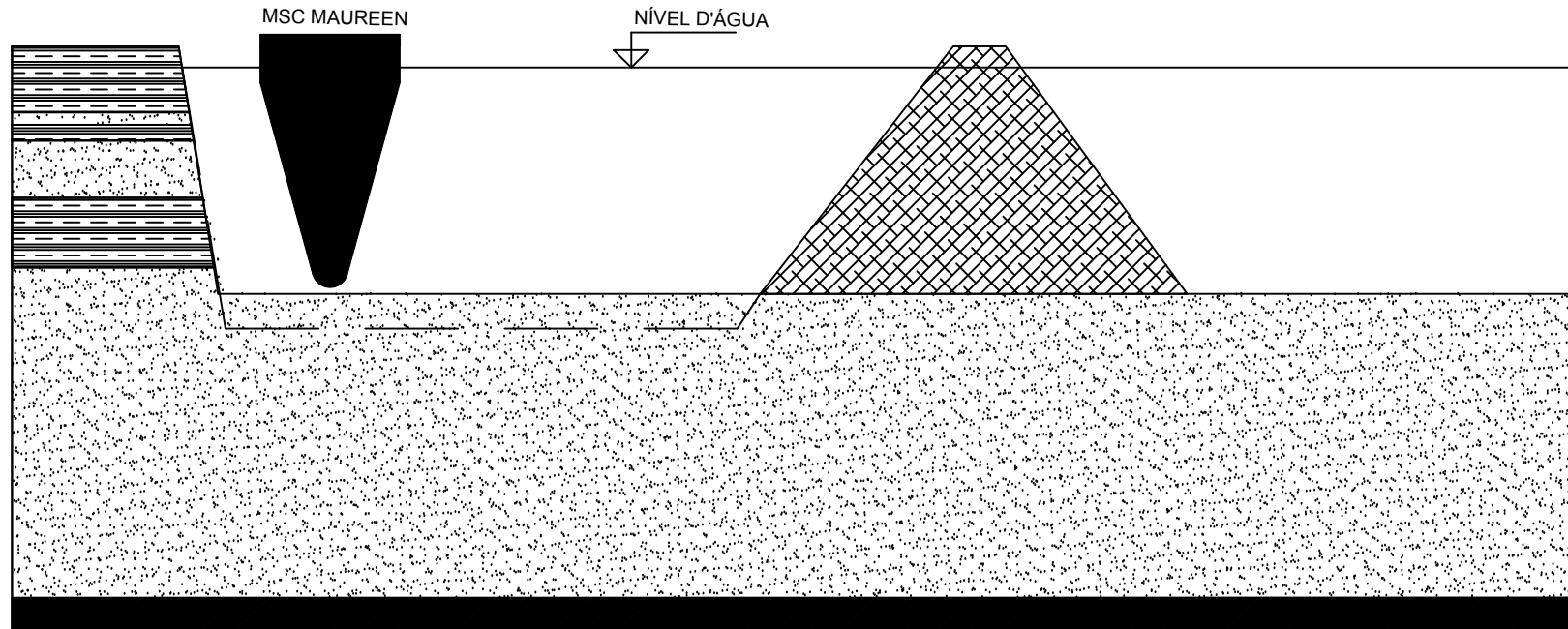


LEGENDA:



SEÇÃO 3- S3

ESCALA HORIZONTAL 1:1500



ESCALA
VERTICAL
1:300

LEGENDA:



AREIA



ARGILA



MOLHE



PEDREGULHO

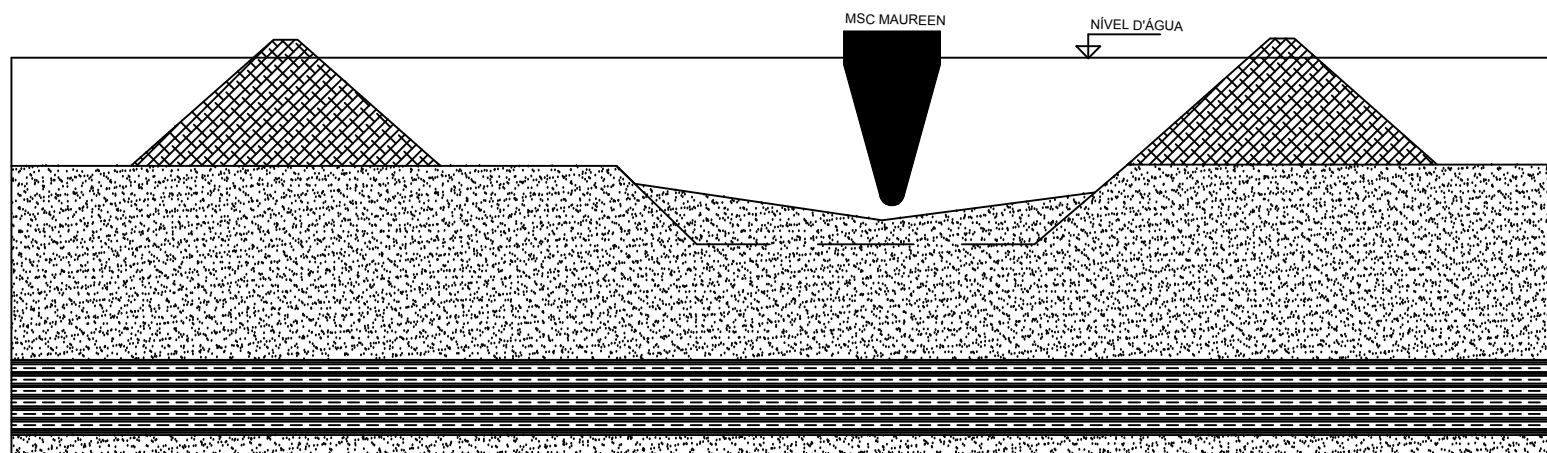
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA- CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE PRANCHA

ARETHUSA NAARA GOEDERT - 11103774

ESCALA
NO DESENHO

3/7

SEÇÃO 4- S4
 ESCALA HORIZONTAL 1:2000



ESCALA
 VERTICAL
 1:400

LEGENDA:

- AREIA
- ARGILA
- MOLHE

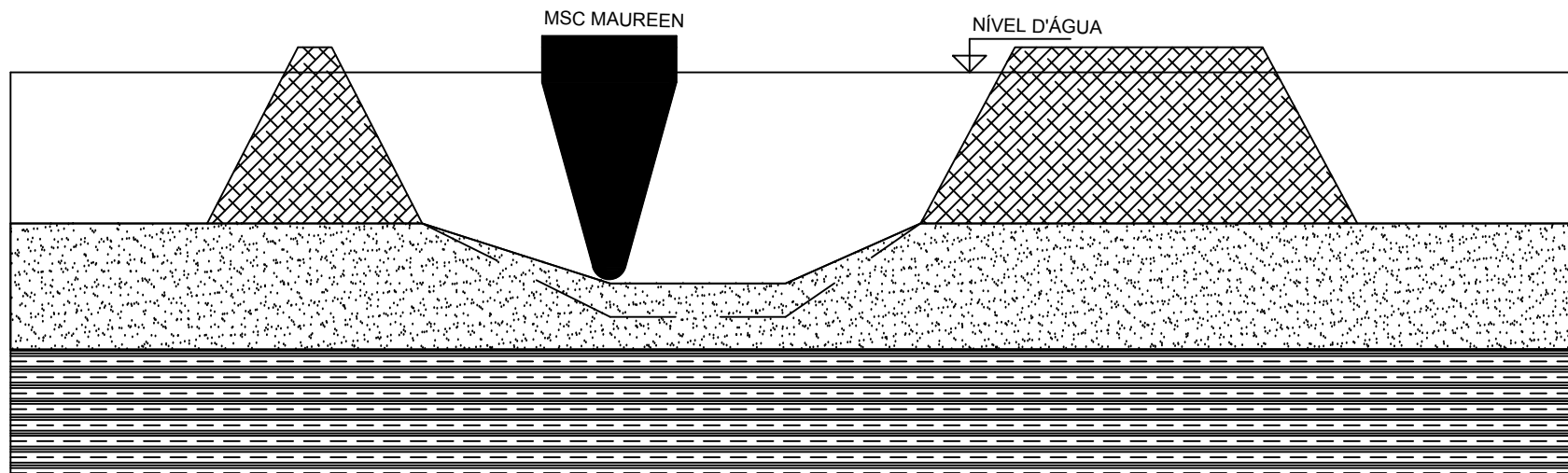
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA- CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE PRANCHA

ARETHUSA NAARA GOEDERT - 11103774

ESCALA
 NO DESENHO




4/7

SEÇÃO 05- S5
 ESCALA HORIZONTAL 1:1500



ESCALA
 VERTICAL
 1:500

LEGENDA:

-  AREIA
-  ARGILA
-  MOLHE

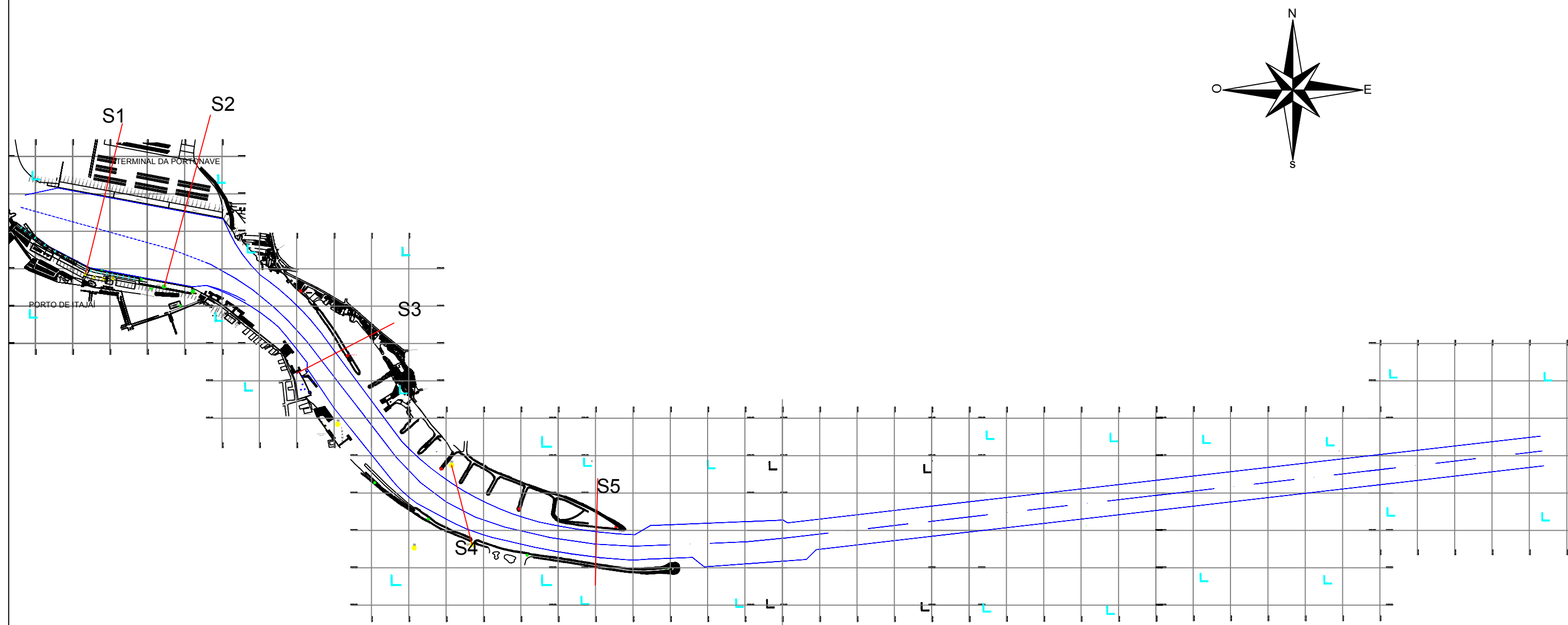
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA- CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE PRANCHA

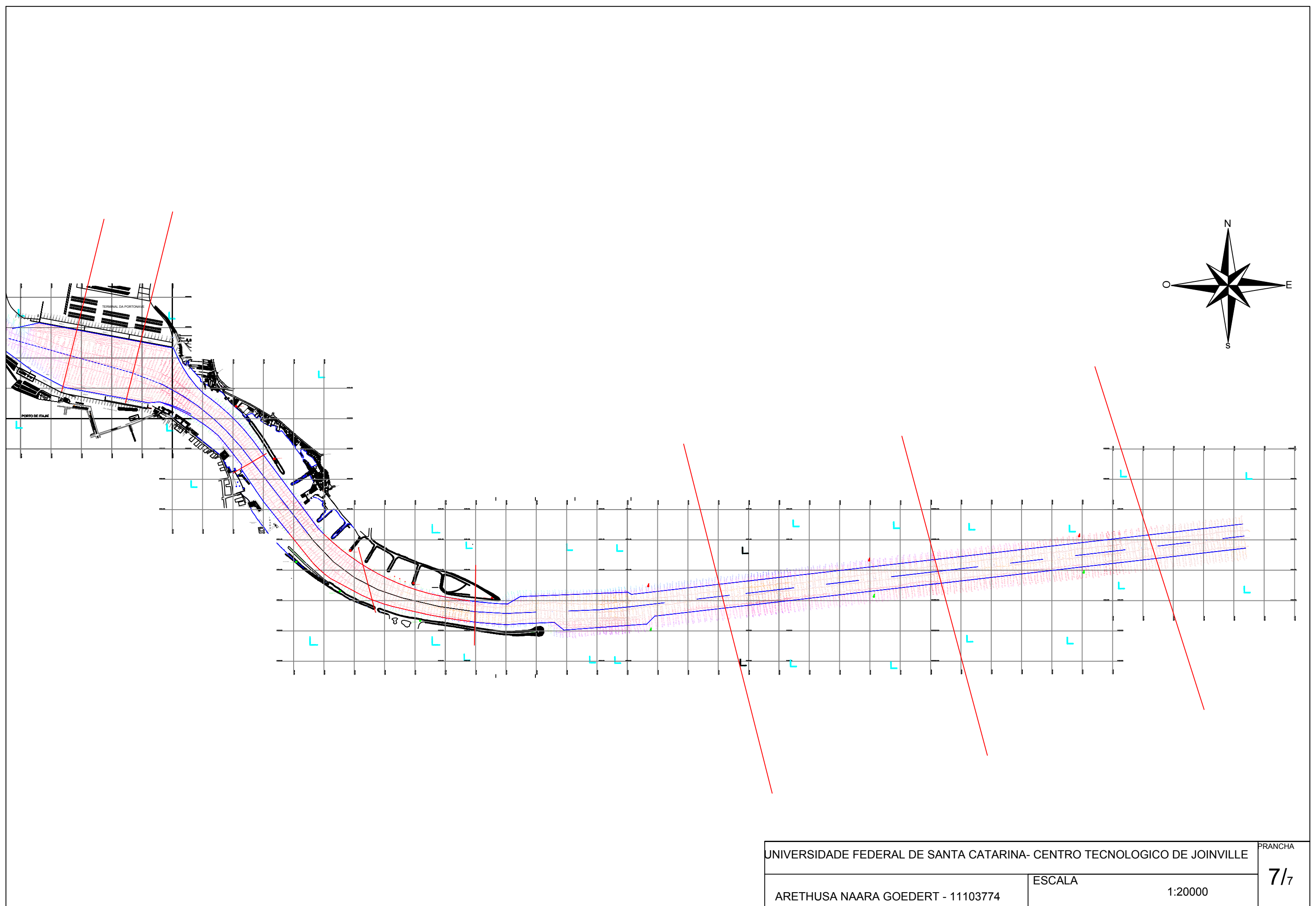
ARETHUSA NAARA GOEDERT - 11103774

ESCALA
 NO DESENHO

5/7

Apêndice II – Planta do Canal





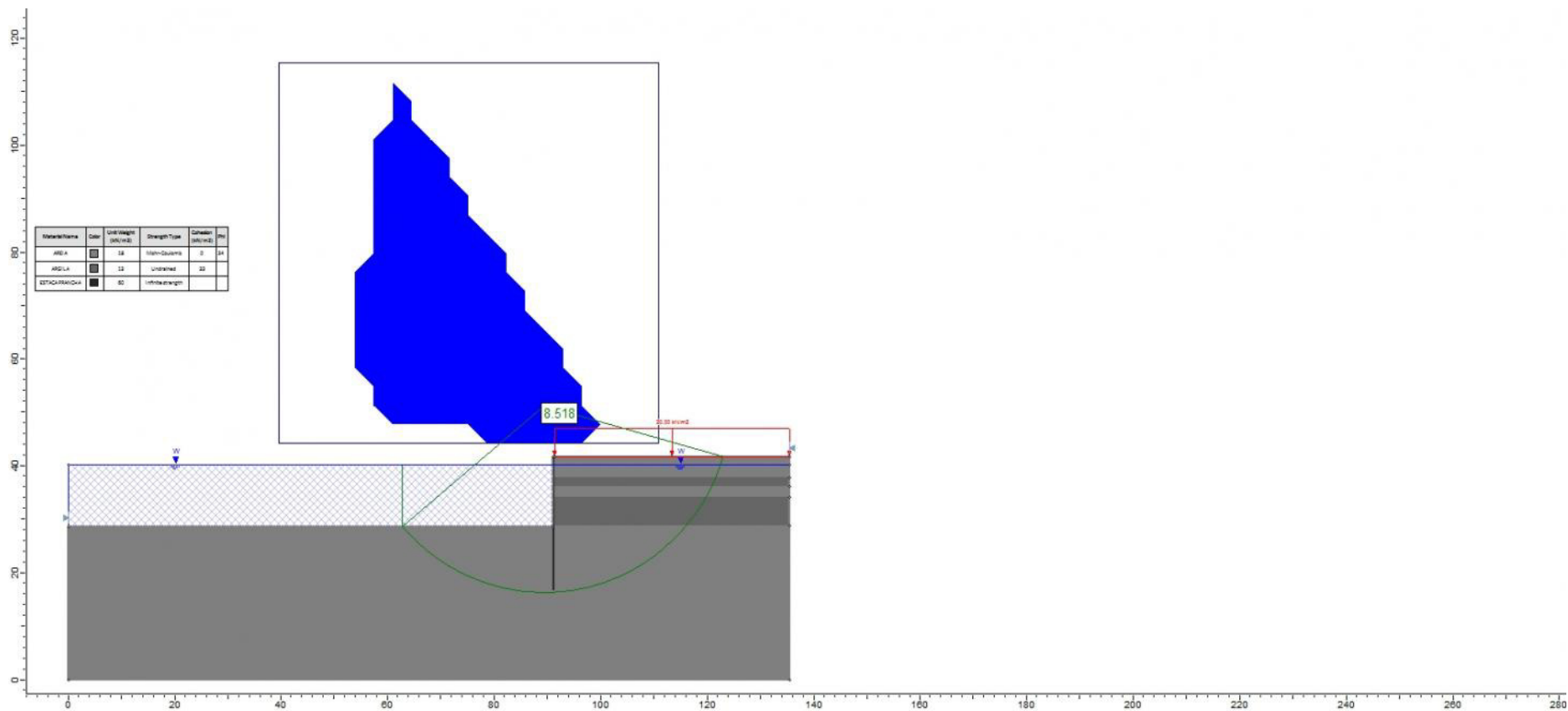
Apêndice IV – seções de análise com FS

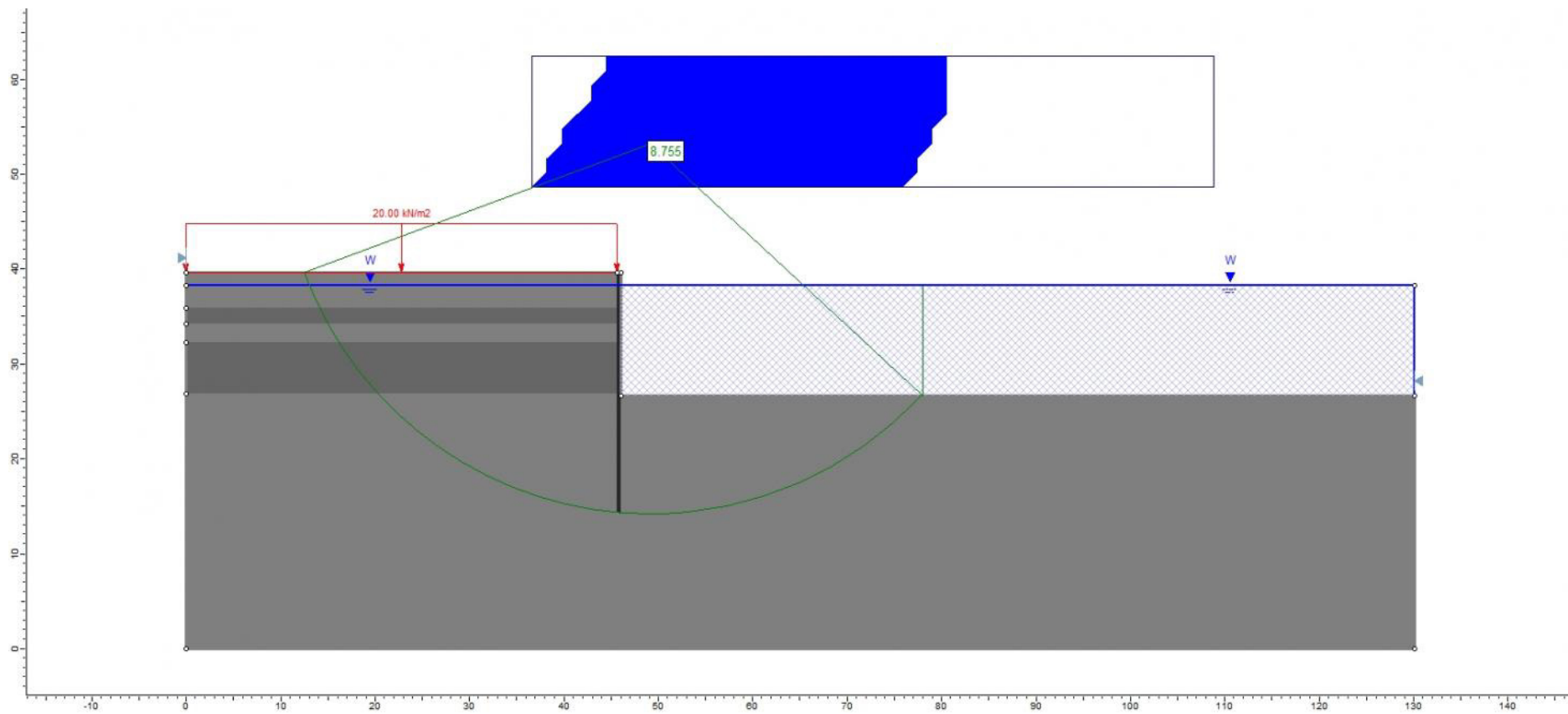
Seção 1 - Margem direita atual

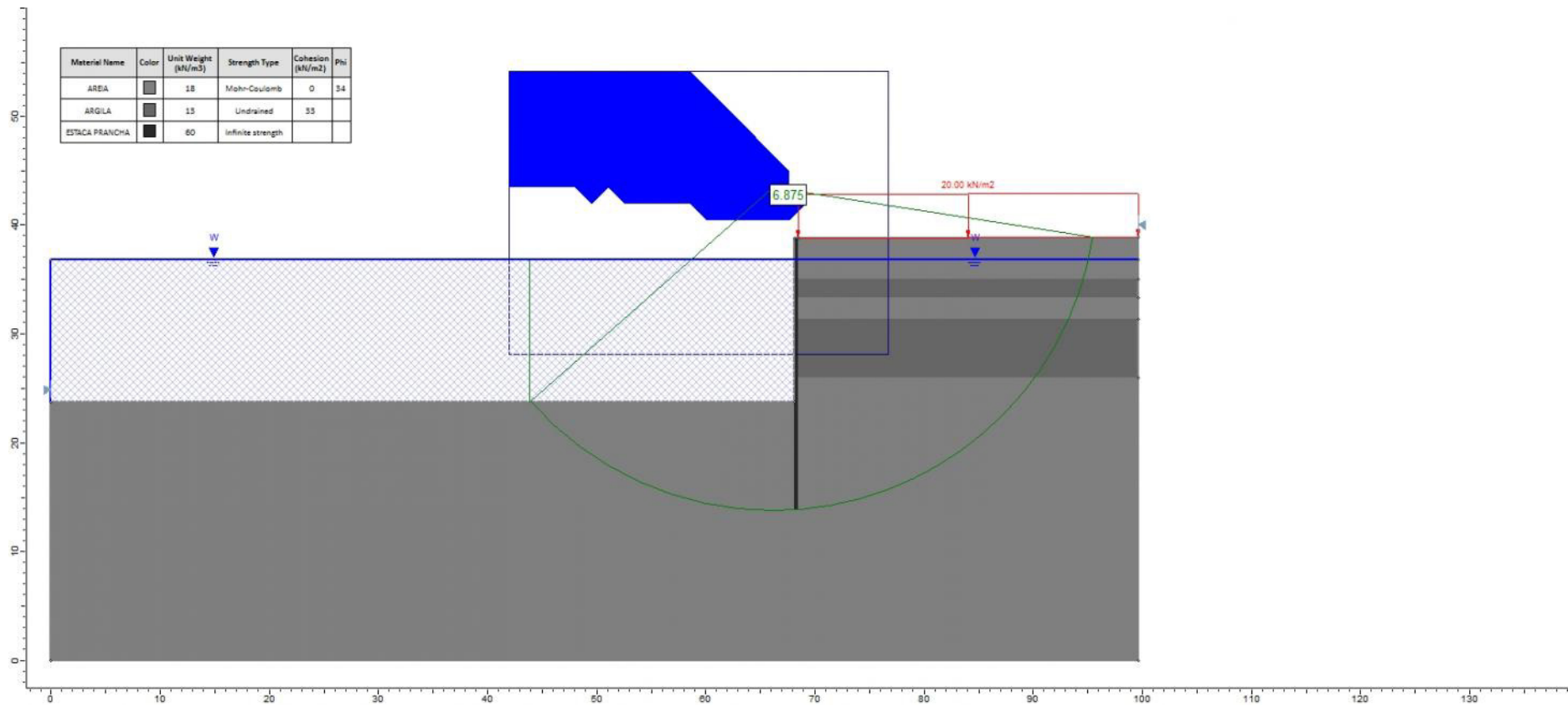
Seção 1 – Margem esquerda atual

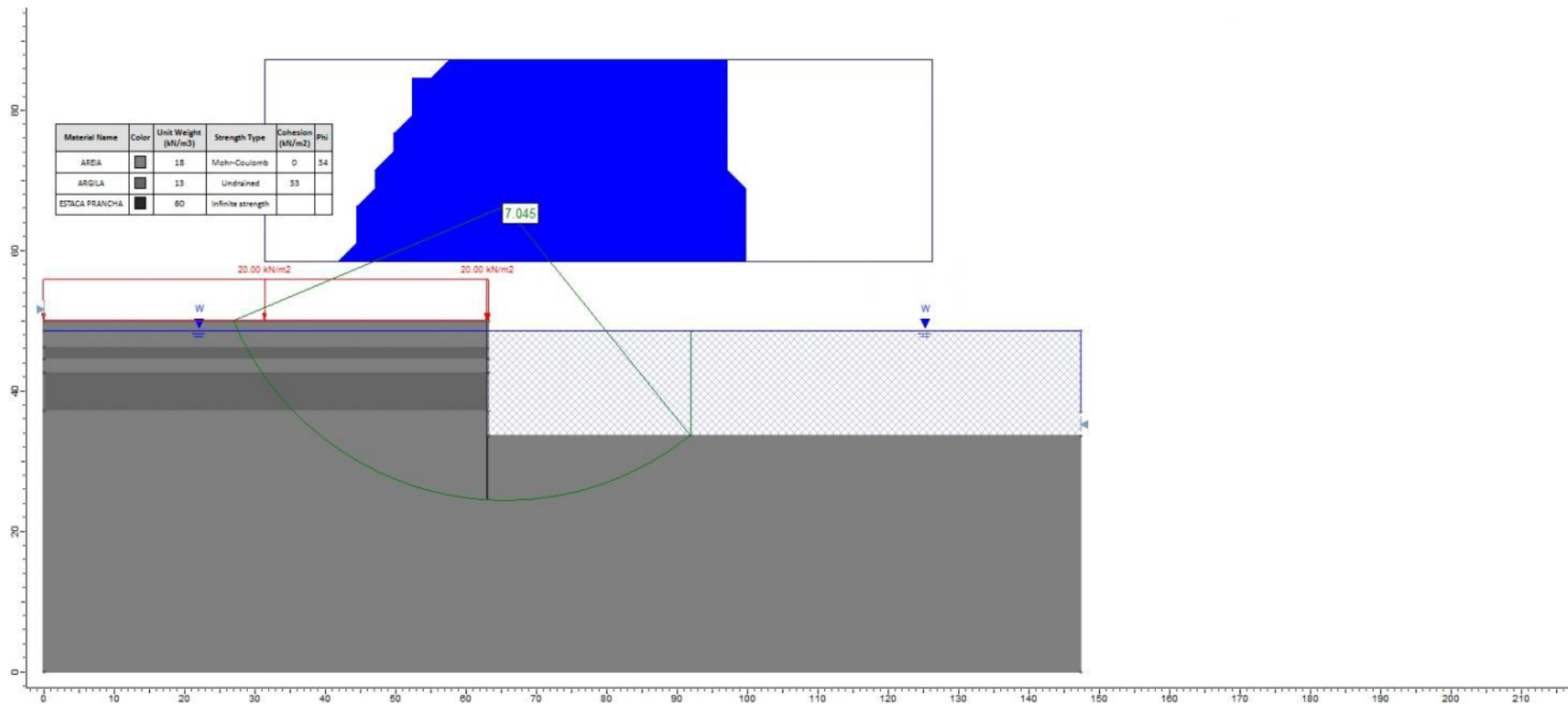
Seção 1 – Margem direita ampliação

Seção 1 – Margem esquerda ampliação









Apêndice IV – seções de análise com FS

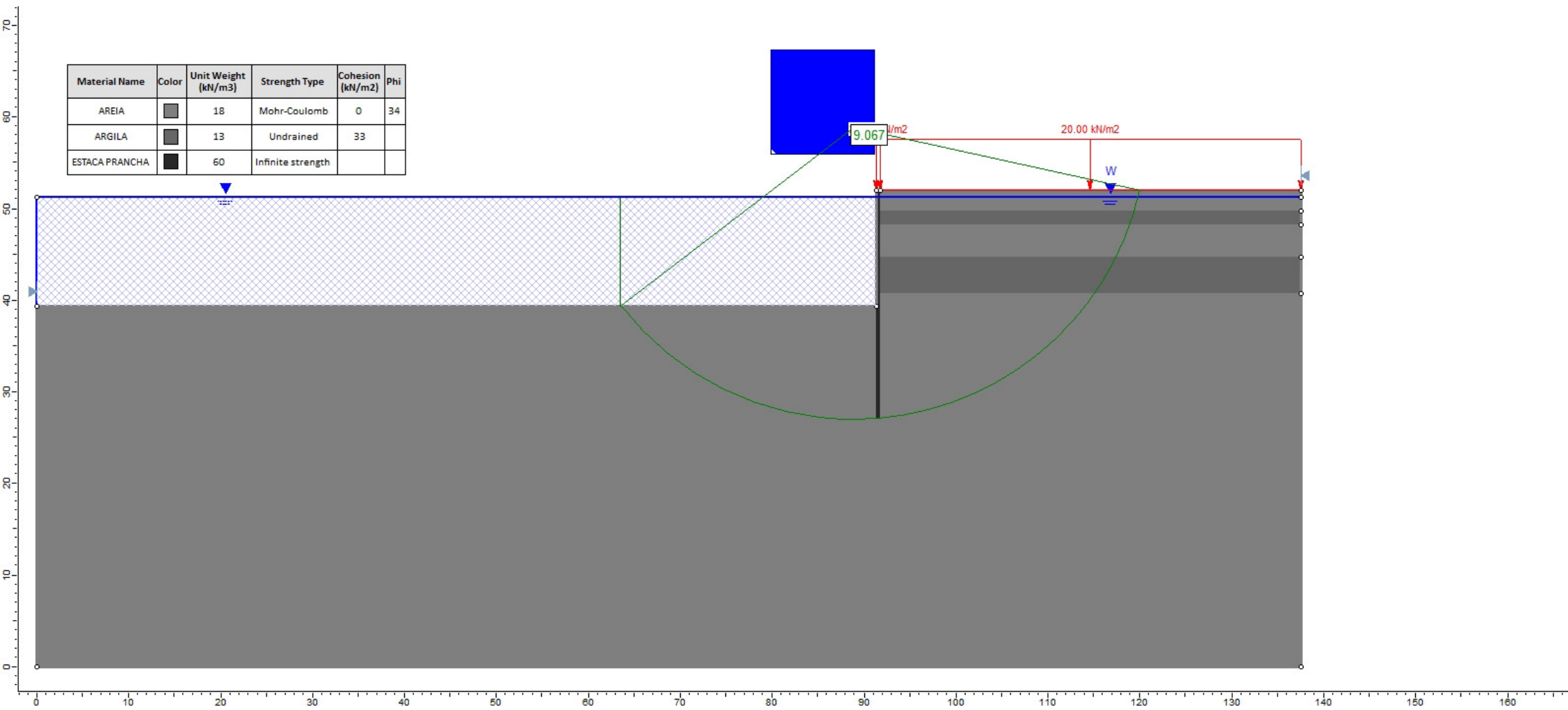
Seção 2 - Margem direita atual

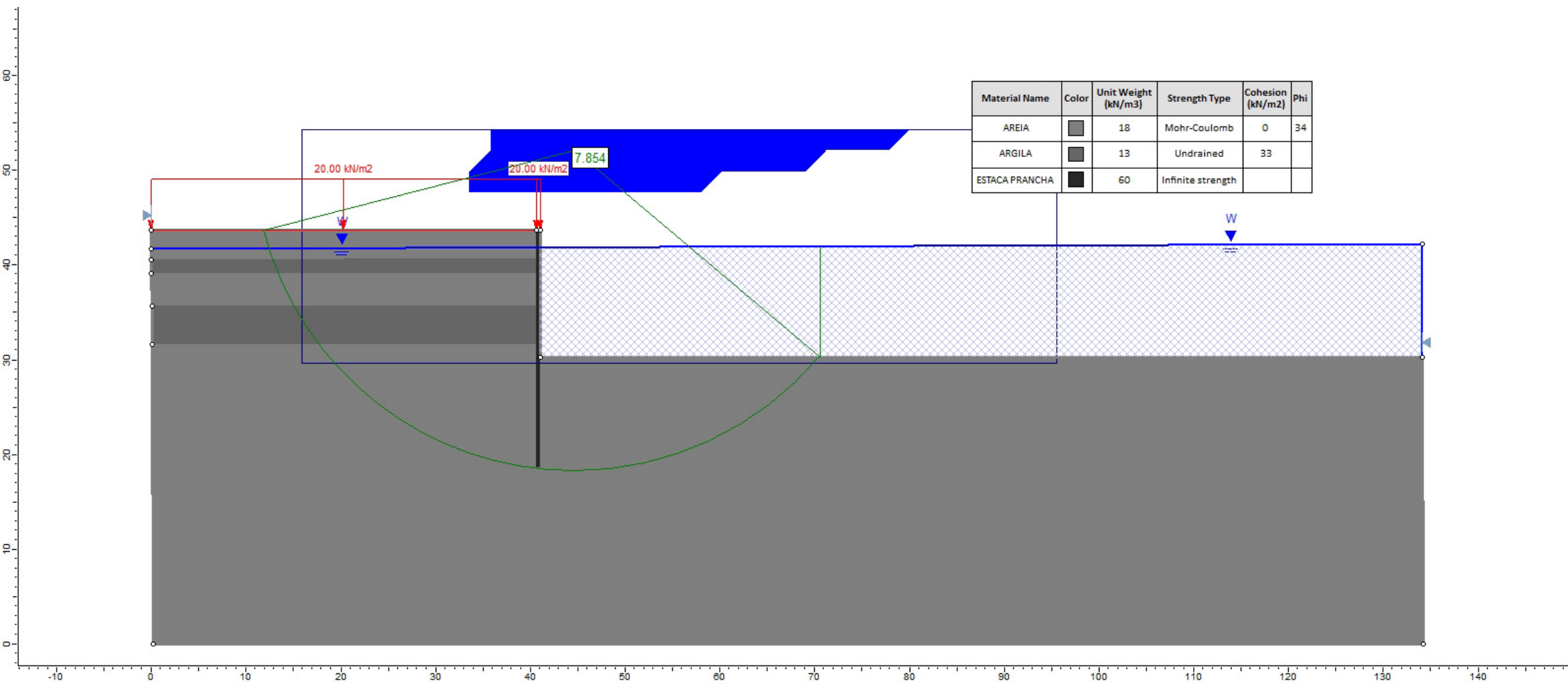
Seção 2 – Margem esquerda atual



Seção 2 – Margem direita ampliação

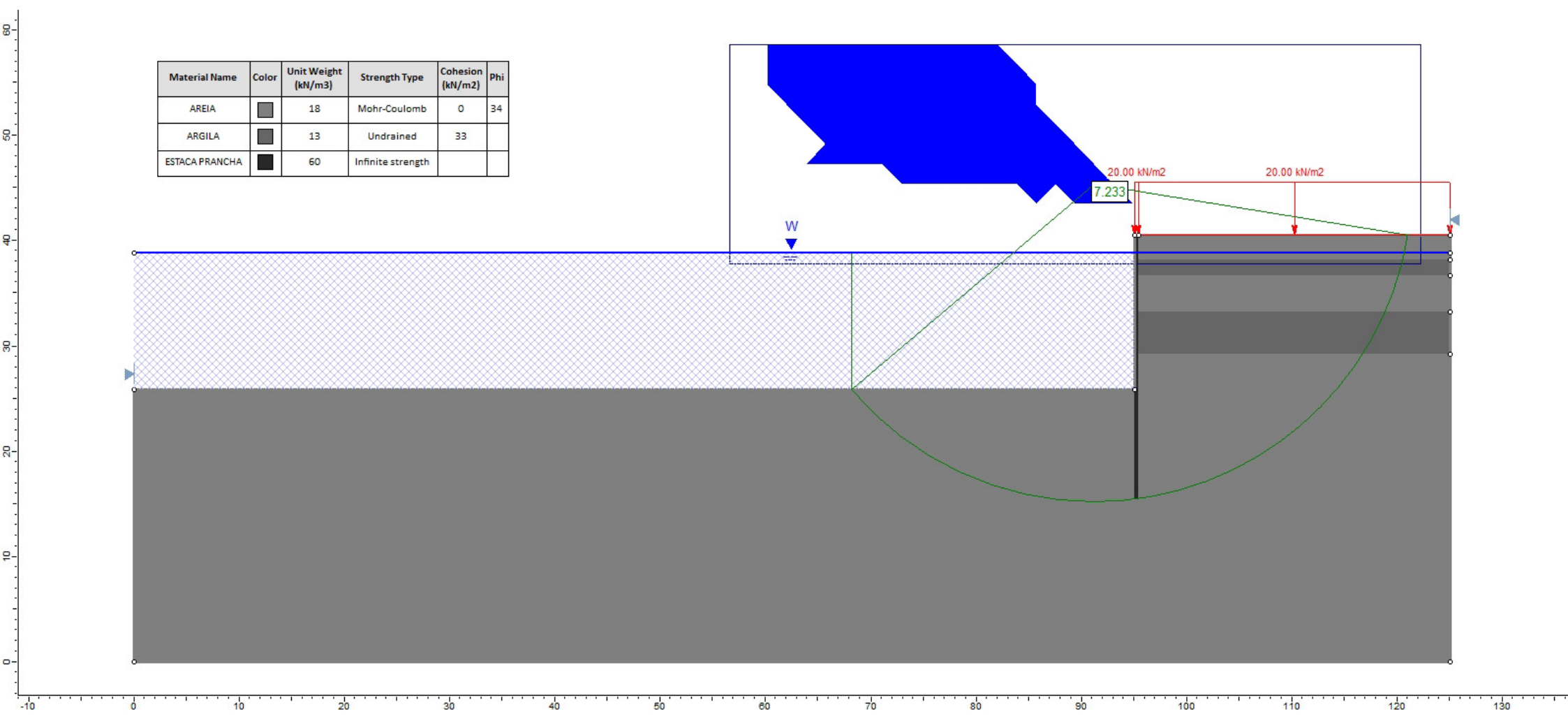
Seção 2 – Margem esquerda ampliação

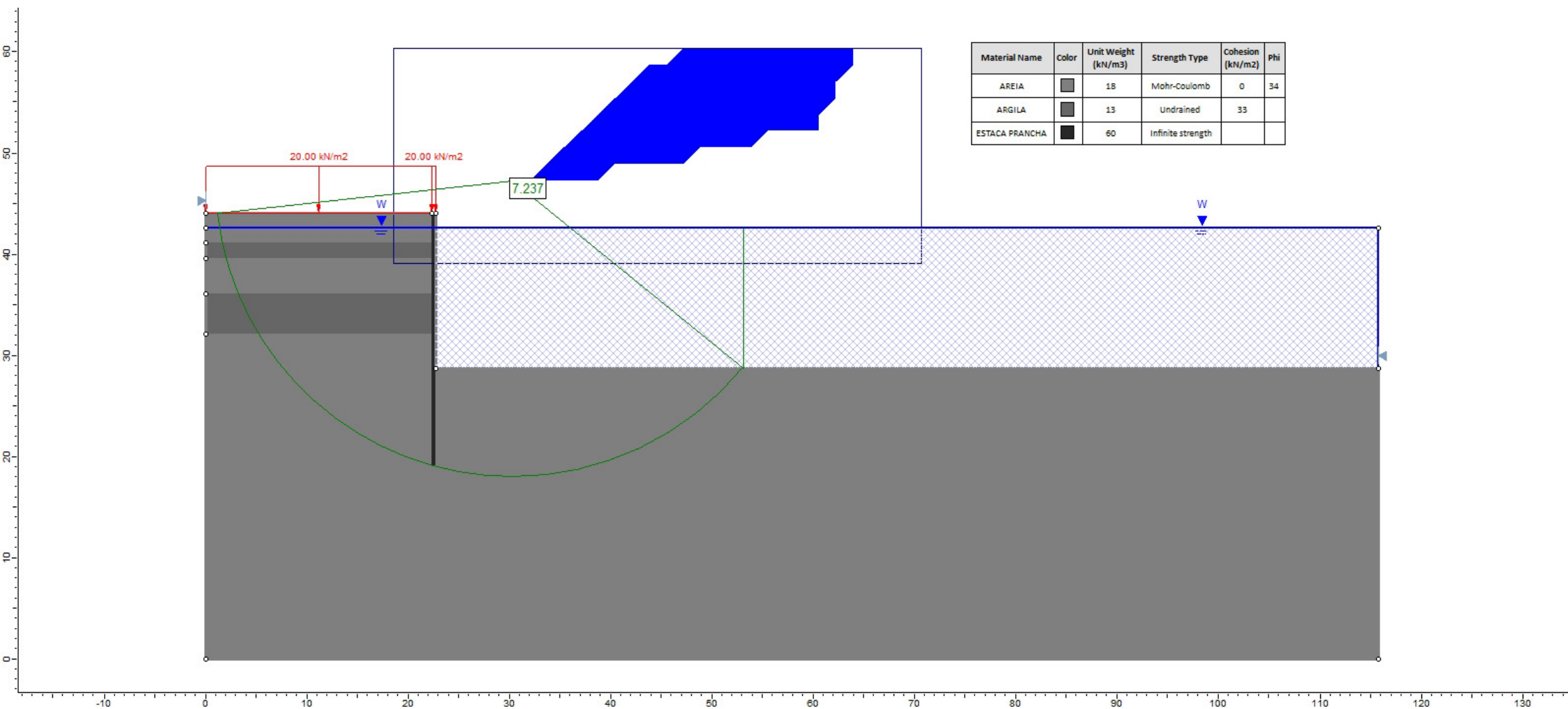
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi
AREIA		18	Mohr-Coulomb	0	34
ARGILA		13	Undrained	33	
ESTACA PRANCHA		60	Infinite strength		





Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi
AREIA		18	Mohr-Coulomb	0	34
ARGILA		13	Undrained	33	
ESTACA PRANCHA		60	Infinite strength		





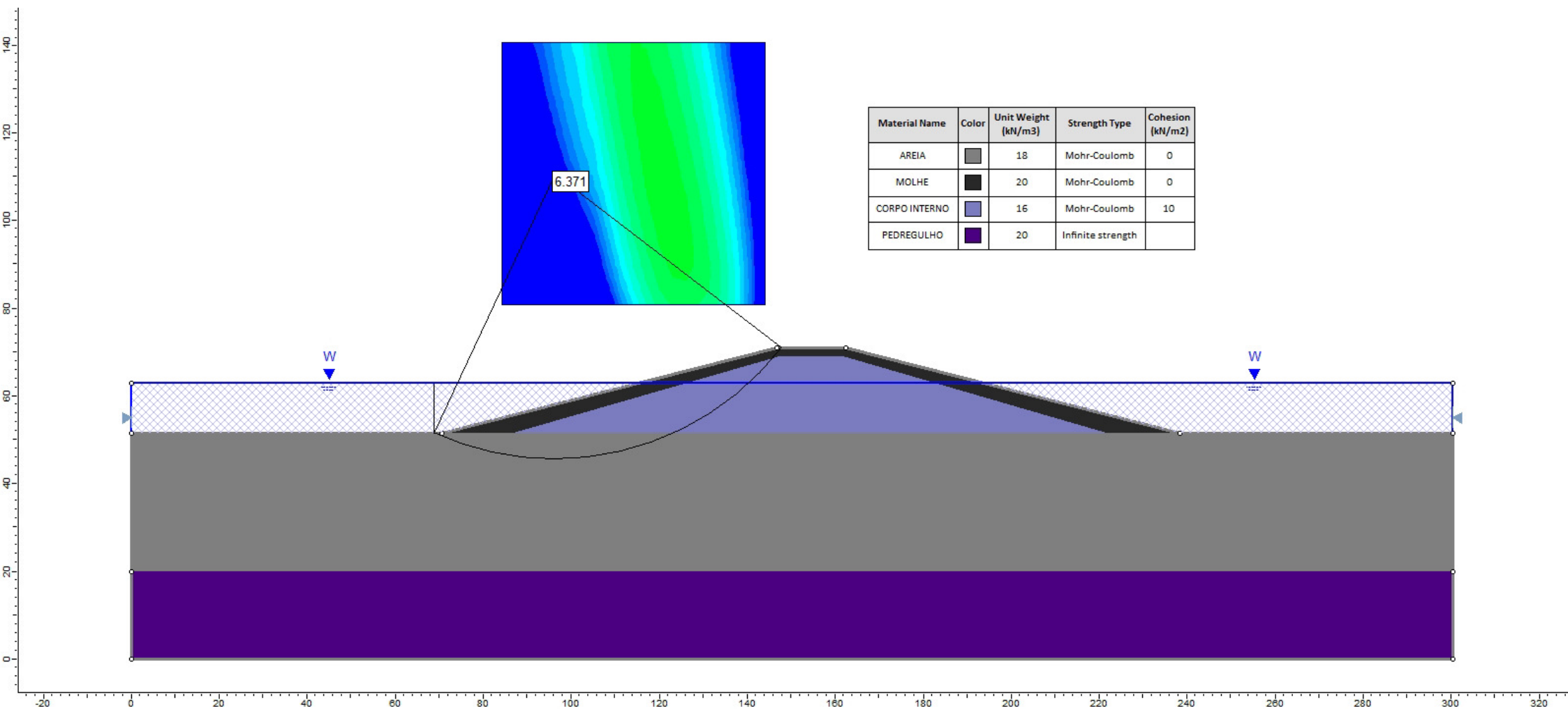
Apêndice IV – seções de análise com FS

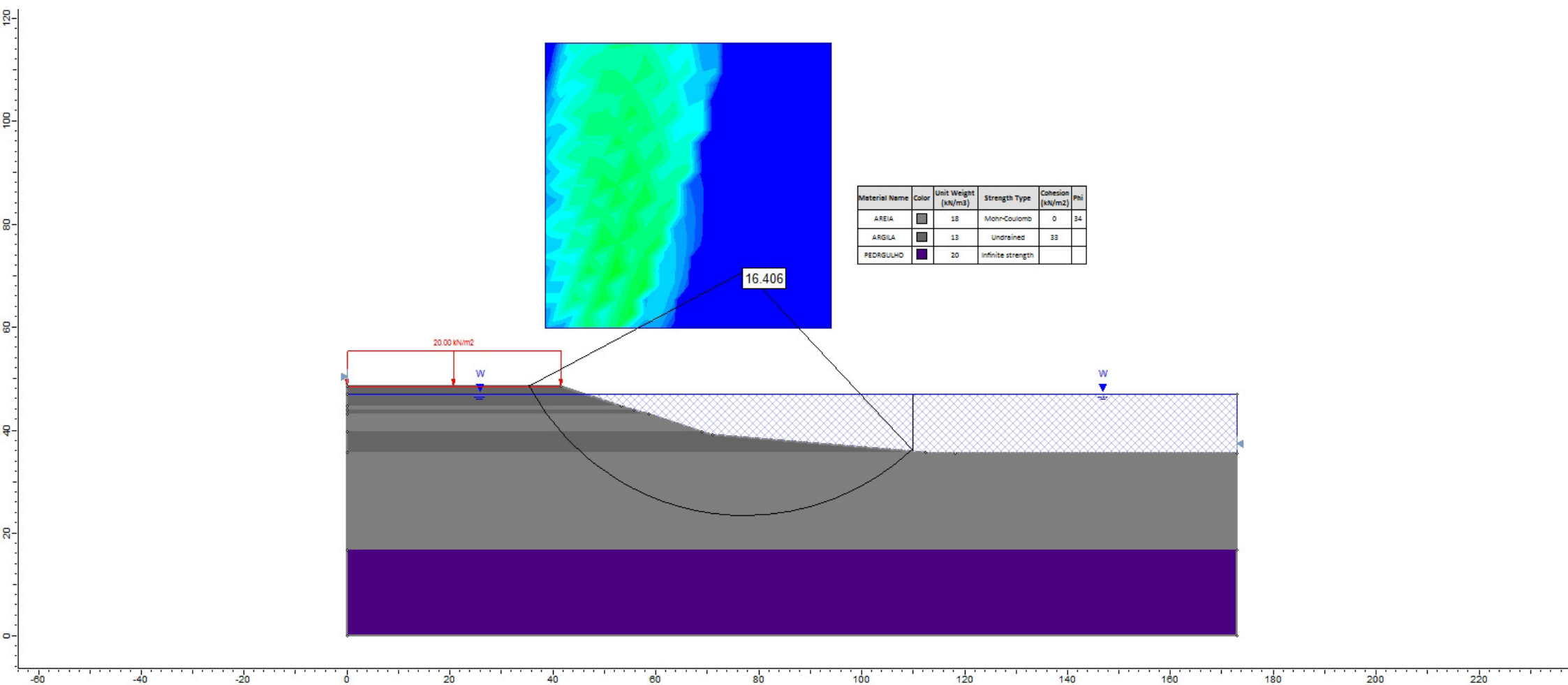
Seção 3 - Margem direita atual

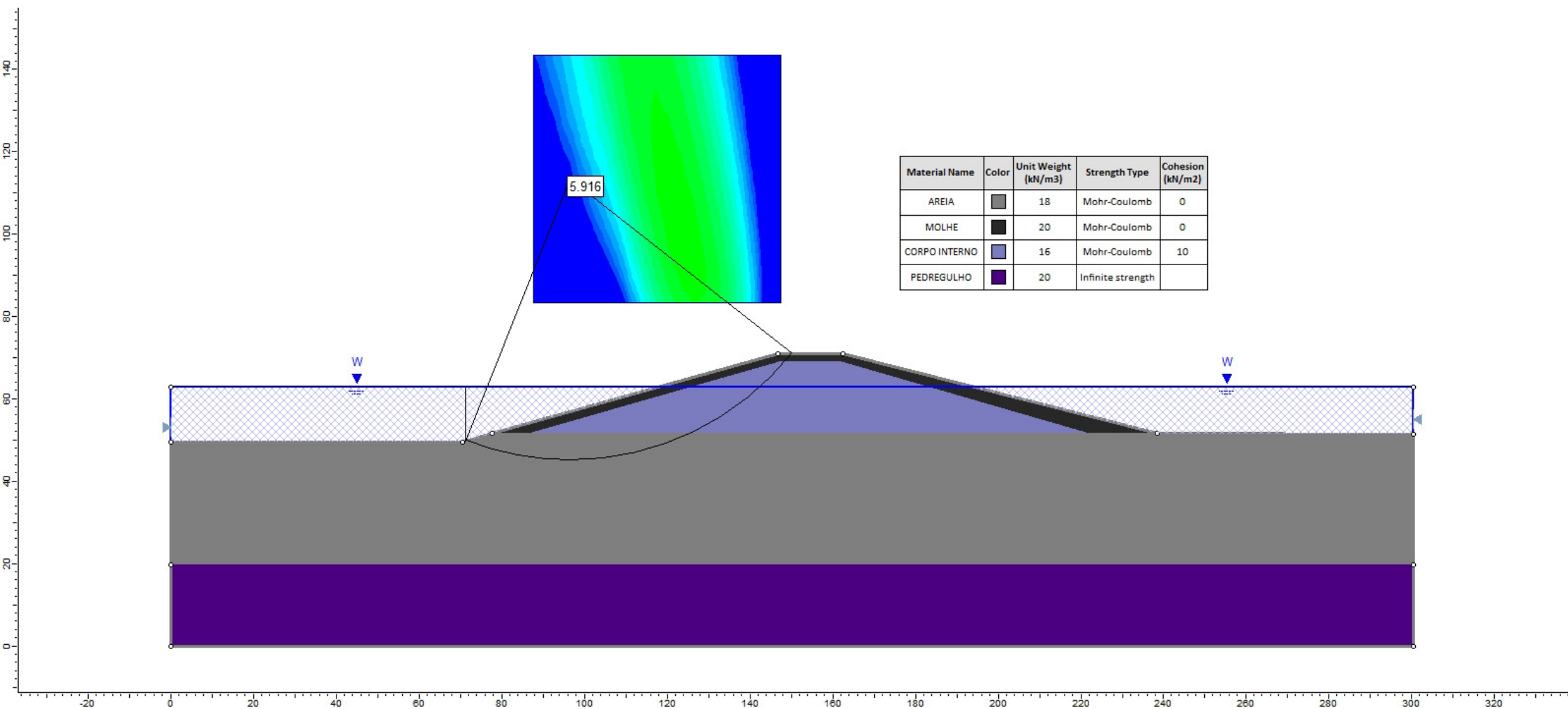
Seção 3 – Margem esquerda atual

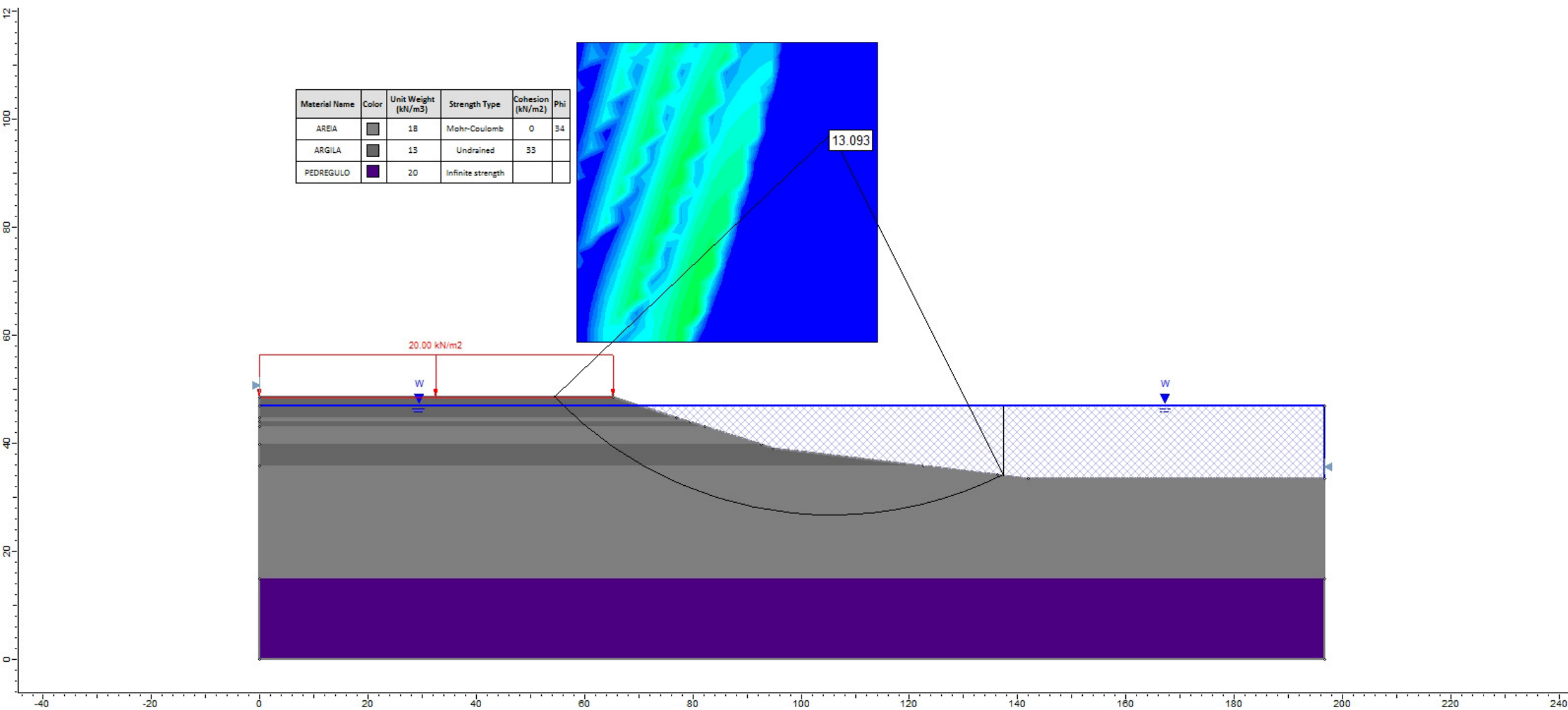
Seção 3 – Margem direita ampliação

Seção 3 – Margem esquerda ampliação









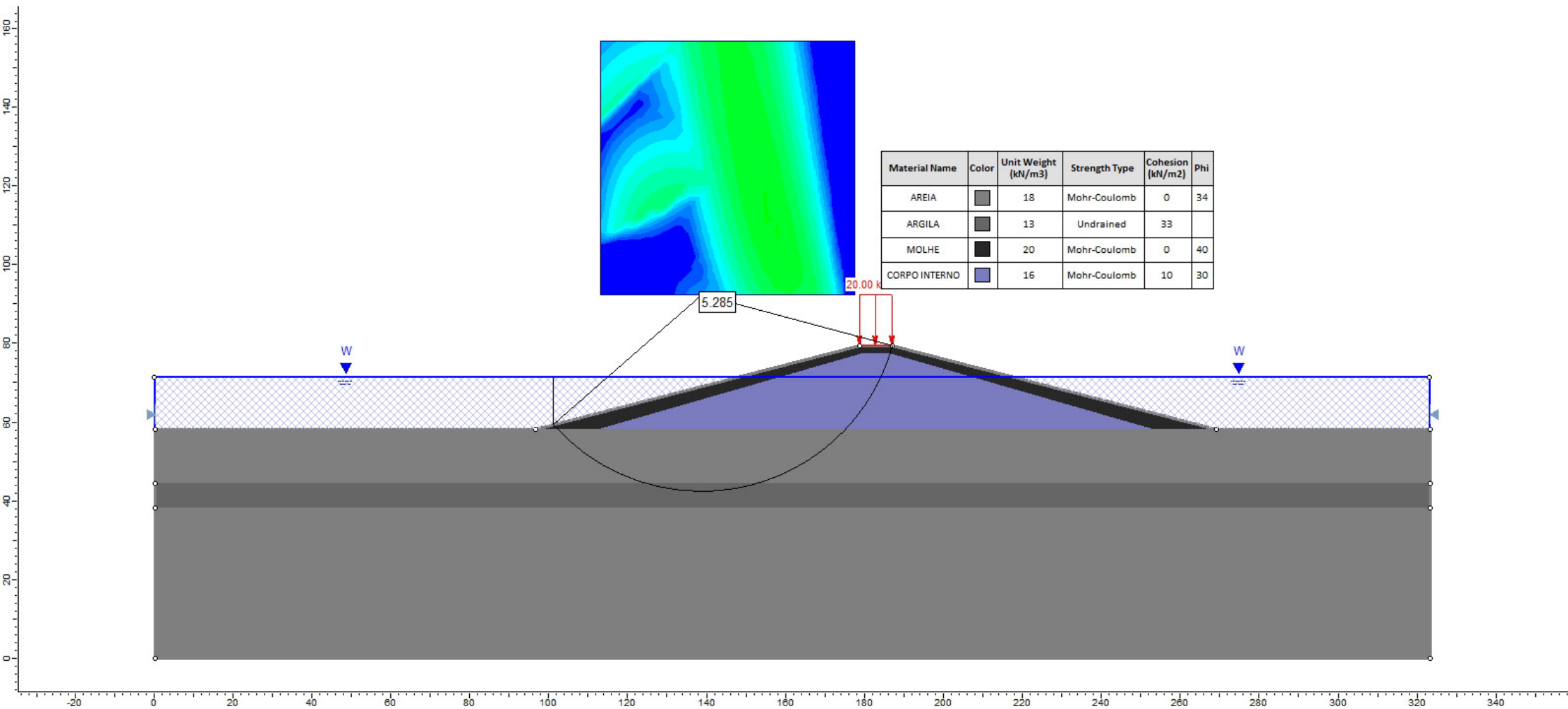
Apêndice IV – seções de análise com FS

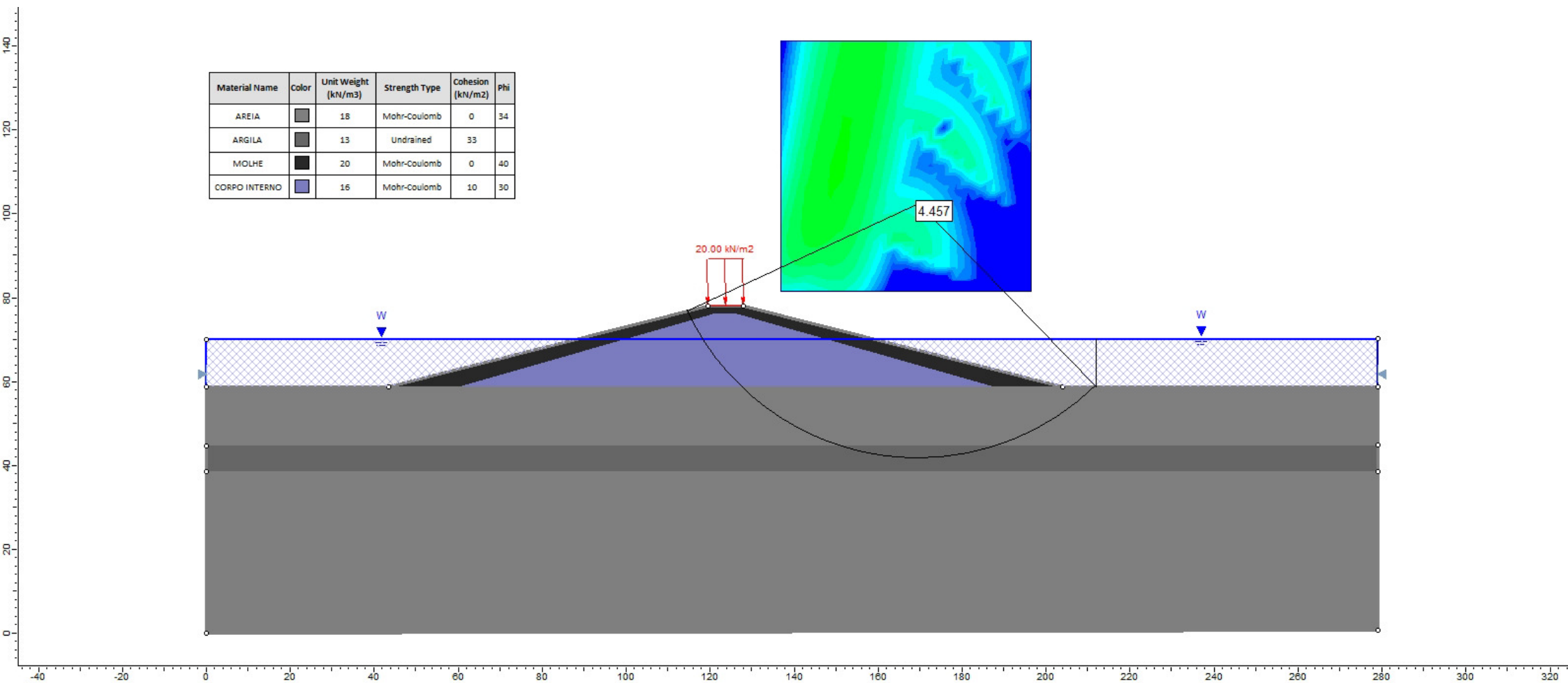
Seção 4 - Margem direita atual

Seção 4 – Margem esquerda atual

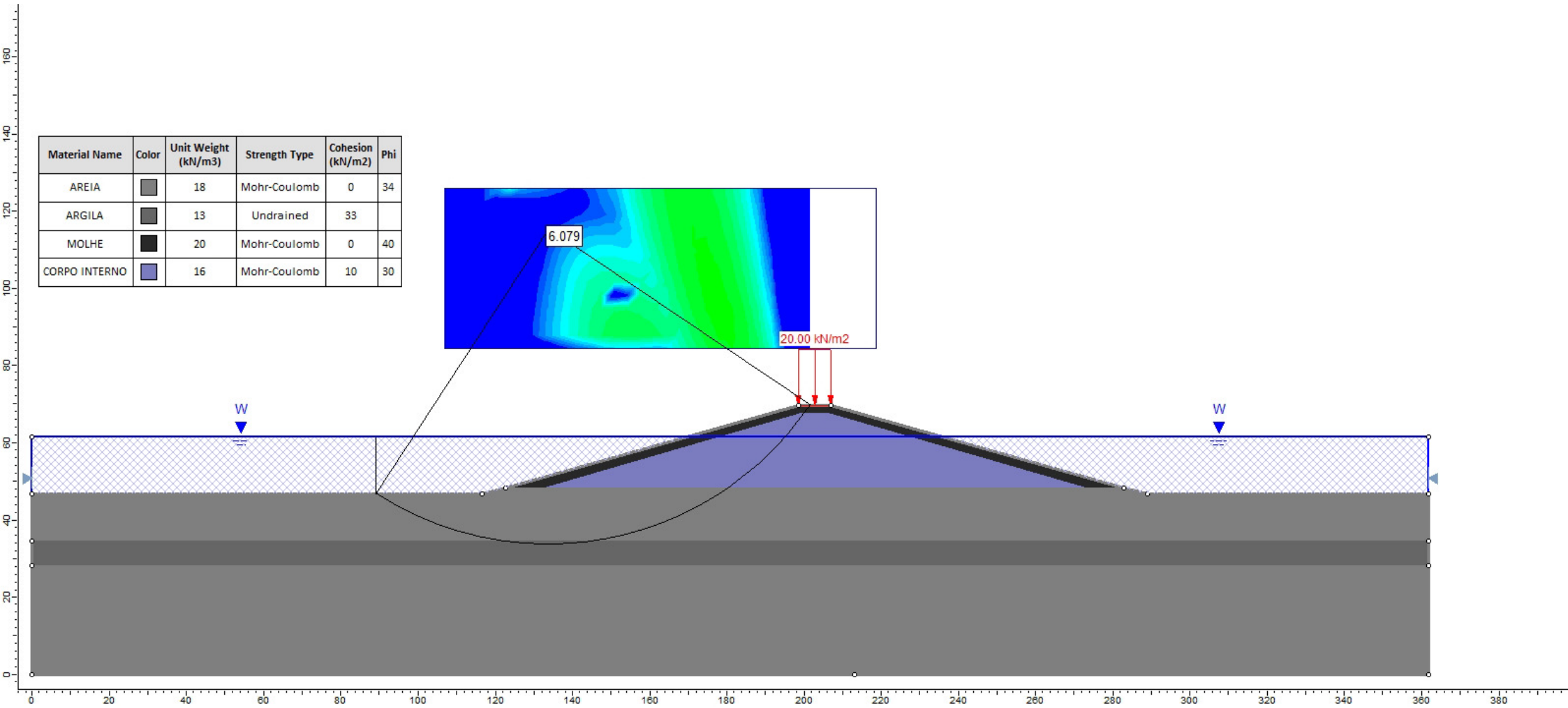
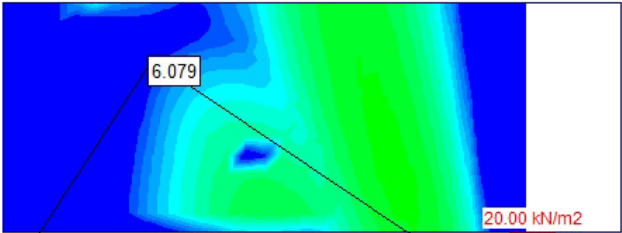
Seção 4 – Margem direita ampliação

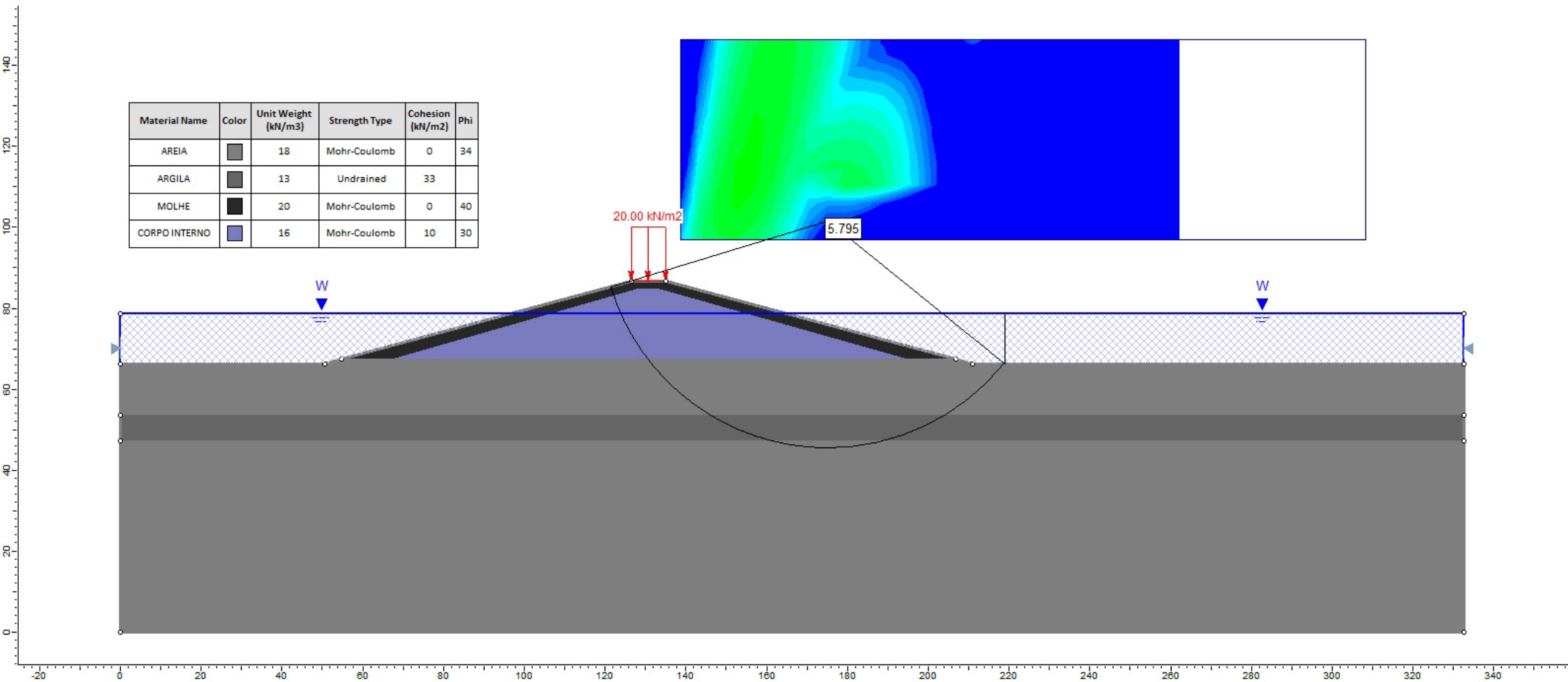
Seção 4 – Margem esquerda ampliação





Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi
AREIA		18	Mohr-Coulomb	0	34
ARGILA		13	Undrained	33	
MOLHE		20	Mohr-Coulomb	0	40
CORPO INTERNO		16	Mohr-Coulomb	10	30





Apêndice IV – seções de análise com FS

Seção 5 - Margem direita atual

Seção 5 – Margem esquerda atual

Seção 5 – Margem direita ampliação

Seção 5 – Margem esquerda ampliação

